



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia
Vigilada Mineducación

PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO

**PROPUESTA DE UNA ALTERNATIVA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL
EDIFICIO EL CUBO EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ**

DANIELA PAOLA GRANADOS POVEDA

LEIDY XIMENA REY VARGAS

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE OBRAS

BOGOTÁ D.C

2019



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)
Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción.....	8
1 Generalidades	9
1.1 Línea de Investigación	9
1.2 Planteamiento del Problema.....	9
1.2.1 Antecedentes del problema	10
1.2.2 Pregunta de investigación	11
Variables del problema	11
1.3 Justificación	11
1.4 Hipótesis	12
1.5 Objetivos	12
1.5.1 Objetivo general.....	12
2 Marcos de referencia.....	13
2.1 Marco conceptual	13
2.2 Marco teórico	17
2.3 Marco jurídico	21
2.4 Marco geográfico	24
2.5 Marco demográfico.....	26

2.6	Estado del arte.....	28
3.	Metodología.....	46
3.1	Fases del trabajo de grado	46
3.2	Instrumentos o herramientas utilizadas	47
3.3	Población y muestra	48
3.4	Alcances y limitaciones.....	48
3.5	Cronograma.....	48
3.6	Presupuesto	50
4	Productos a entregar	50
5	Desarrollo del proyecto.....	51
5.1	Estrategias de gestión, uso y mantenimiento	51
5.2.	Análisis de la factura eléctrica y del consumo	58
5.3	Alternativa solar fotovoltaica	61
5.4	Alternativa iluminación LED	71
5.5	Alternativa iluminación exterior autónoma	81
5.6	Comparación de alternativas.	84
6	Descripción de resultados esperados e impactos	86
6.1	Aporte de los resultados a la Gerencia de Obras.....	87
6.2	Cómo se responde a la pregunta de investigación con los resultados	87

6.3	Estrategias de Comunicación y Divulgación.....	87
7	Nuevas áreas de Estudio.....	88
8	Conclusiones.....	88
9	Bibliografía.....	90
10	Anexos.....	96

LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1 Diagrama fases de la investigación	13
Grafica 2 Teorías asociadas a la eficiencia energética	17
Grafica 3 Consumo energético 2015 UPME	20
Grafica 4 Localización	24
Grafica 5 jerarquía espacial	25
Grafica 6 Fachada.....	25
Grafica 7 Temáticas asociadas al estado del arte	28
Grafica 8 Captación de la energía	34
Grafica 9 Distribución de Consumo de Energía Final. Colombia – 2015.....	41
Grafica 10 Fases del trabajo de grado	47
Grafica 11 Cronograma 1.....	49
Grafica 12 Cronograma 2.....	49
Grafica 13 Plano eléctrico piso 2	54
Grafica 14 Sistema típico de barras	55
Grafica 15- Desglose factura de energía	59
Grafica 16 - Alternativa 1	63
Grafica 17 - Alternativa 2	64
Grafica 18 - Alternativa 3	65
Grafica 19 - Alternativa 4	66
Grafica 20 - 3D volumétrico alternativa solar fotovoltaica	86

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Marco Jurídico	21
Tabla 2 Ingreso de usuarios al Cubo 2018	27
Tabla 3 Fuentes de energía - ventajas y desventajas	33
Tabla 4 Presupuesto	50
Tabla 5 – Relación ocupación de espacios vs lúmenes	53
Tabla 6 Consumo de KW actual	60
Tabla 7 - Resumen de alternativas	66
Tabla 8- resumen rentabilidad financiera	70
Tabla 9 Consumo en Watts Tipos de luminarias	74
Tabla 10 Niveles de iluminación	75
Tabla 11 Inventario de Luminarias	78
Tabla 12 Consumo de energía estimada con Luminarias LED	79
Tabla 13 Flujo de caja luminarias LED	80
Tabla 14 Captación centralizada vs autónoma	82
Tabla 15 Flujo de caja Luminarias autoconsumo	84

Introducción

El presente trabajo de investigación está enmarcado en el desarrollo y mejoramiento de edificaciones que aporten a la conservación del medio ambiente y espacios más saludables, evaluando e impulsando la implementación de alternativas no convencionales y de bajo consumo, además de generar sostenibilidad social, política y económica.

Tal como se evalúa en el sistema de certificación en construcción sostenible LEED® (cuyas siglas significan Leadership in Energy & Environmental Design), asociado a la organización U.S. Green Building Council (USGBC); la cual trabaja por la transformación del mercado a través de la implementación de edificaciones sostenibles, líderes en construcción verde – ecológica, desde el diseño, construcción, mantenimiento y operación de edificios, impulsando a ofrecer entornos que ayuden a maximizar la salud y productividad de los ocupantes, usar menos recursos como la energía y el agua, reducción del desperdicio e impactos ambientales negativos como las emisiones de carbono, además proporcionar ahorros en costos de operación. También, trabaja por gestionar las políticas públicas para fomentar este tipo de prácticas sostenibles en las edificaciones y comunidades.

Es por esto que se quiso estudiar una edificación la cual cumpla con estas características de diseño, construcción, mantenimiento y operación identificando una edificación emblemática en el desarrollo y aplicación de alternativas sostenibles como lo es el Centro Empresarial y Recreativo de Colsubsidio, El Cubo, el cual recibió la certificación LEED nivel “Gold” versión 2.2, en el año 2013; que se construyó bajo el criterio de un sistema sostenible, instalando un modelo de fachadas en vidrio, que permite el acceso y control de luz solar durante el día, evitando la necesidad de usar al máximo el sistema eléctrico convencional instalado en un determinado horario de servicio, también favorece la circulación del aire en los diferentes ambientes. Además de eso cuenta con puntos de sostenibilidad como es el tratamiento de aguas grises, garantizando el menor consumo de agua, este cuenta con un sistema de reciclaje de desechos sólidos. Otra de las características sostenibles que ofrece el edificio, son las diferentes modalidades de parqueo, en el que se brinde mayor beneficio al servicio de bici parqueo y parqueo a vehículos de baja emisión.

Sin embargo, el edificio el Cubo no cuenta con un sistema de generación de energía sostenible, sumado a esto su sistema de luminarias convencionales instaladas no generan ningún tipo de ahorro de energía.

Es por esto que, el presente estudio tiene como principal objetivo, proponer un sistema de generación de energía eficiente a través de fuentes renovables, que puedan ser implementadas en el edificio como lo es la generación de energía solar fotovoltaica y la renovación del sistema de iluminación convencional por sistema Led; las cuales garantizarán el suministro de energía, sumando beneficios como sistemas menos contaminantes y optimización en el consumo de energía eléctrica durante su funcionamiento de operación.

1 Generalidades

1.1 Línea de Investigación

- Gestión y tecnología para la sustentabilidad de las comunicaciones.
- Gestión integral y dinámica de las organizaciones empresariales.

1.2 Planteamiento del Problema

El edificio el Cubo de Colsubsidio, además de ser un Centro Empresarial también es un Centro recreativo, por lo que crea una gran demanda de uso a los espacios ofrecidos, haciéndose necesario el consumo de energía eléctrica constante, notoria en su gran mayoría en ciertas áreas del edificio con frecuencias de uso más constantes. Teniendo en cuenta que este consumo es muy elevado como se evidencia en los registros de consumo energético del edificio y tiene incidencia directa en los costos de funcionamiento y operación de la edificación, además de la constante contaminación del medio ambiente. Se hace necesario implementar alternativas de obtención de energía eléctrica, enfocadas en ayudar al medio ambiente, como lo es la generación de energías a través de fuentes renovables y la renovación del sistema de iluminación convencional instalado por un sistema de iluminación Led.

1.2.1 Antecedentes del problema

En el mundo se evidencia un crecimiento demográfico masivo el cual seguirá en aumento en los próximos años, por tal motivo es importante la implementación de un sistema amigable con el medio ambiente para asegurar un futuro urbano organizado y con la mayor optimización de los recursos naturales. De acuerdo a las cifras oficiales por parte del Departamento Nacional de Planeación (DNP), en Colombia se estima que llegarán unos 18 millones de personas a las ciudades en unos 35 años, lo que deduce que habrá una mayor demanda de vivienda, bienes y servicios públicos que las ciudades deberán suplir de manera eficiente. Por lo anterior se hace necesaria la planeación urbana además de organizada, sostenible y que incluya sistemas de eficiencia energética que nos permitan mitigar los impactos sobre el medio ambiente y los recursos naturales, que si bien actualmente se han ido implementando, para las edificaciones construidas con anterioridad la inversión inicial representaba unos sobrecostos que muchos empresarios no se atrevieron a asumir. Sin embargo, con la globalización y la llegada de nuevas tecnologías al mercado, estos sistemas se vuelven más asequibles para la sociedad, ofreciendo grandes beneficios a sus inversionistas como: alto porcentaje de ahorro eléctrico, retorno de la inversión a corto plazo, mayor optimización y rendimiento de instalaciones y maquinaria, menores costos en mantenimiento y auto control de sus insumos. Además de ser un colaborador ecológico del medio ambiente.

Durante los recorridos realizados como auxiliares de proyectos dentro de la investigación “Análisis de las estrategias de: sostenibilidad y gestión empresarial, aplicada a los edificios certificados LEED” se identificó que el edificio El Cubo no tiene una estrategia de eficiencia energética desarrollado, el cual es fundamental para impulsar los indicadores de funcionamiento del edificio. De allí nace la idea de realizar una propuesta y evaluar la financieramente, para determinar la viabilidad de su posible implementación.

1.2.2 Pregunta de investigación

¿Cuál es la alternativa de eficiencia energética, considerando la generación energética a través de fuentes renovables y la gestión eficiente del recurso, que además sea viable económica y técnicamente para el edificio el Cubo?

Variables del problema

- Estrategias de diseño para la implementación de un nuevo sistema de generación energética.
- Necesidades del edificio de acuerdo al uso y requerimiento de cantidad del consumo.
- Sistema de generación de energía eléctrica a través de fuentes renovables.
- Evaluación de la rentabilidad económica para la posible implementación de un diseño de eficiencia energética combinada utilizando sistemas de generación eléctrica a través de fuentes renovables.
- Las tecnologías asociadas a las fuentes de energías renovables que actualmente existen en el mercado.

1.3 Justificación

- Económicamente puede ser interesante proponer soluciones enfocadas hacia la sostenibilidad generando mayor estabilidad, entendiendo este último como una nueva estrategia de gestión empresarial sostenible.
- Reducción de la dependencia hacia los recursos energéticos de fuentes que no son renovables.
- La conservación de las fuentes de energía no renovables nos ayuda a mitigar el impacto del deterioro ambiental y las posibles interrupciones del servicio debido a desastres naturales.

1.4 Hipótesis

Implementando estrategias de eficiencia energética a través de tecnologías ahorradoras y de autoconsumo se logrará que el edificio sea más eficiente energéticamente y además se reducirán los costos de operación y mantenimiento.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

- Proponer una estrategia de eficiencia energética para el edificio el Cubo en la ciudad de Bogotá, y realizar un análisis de rentabilidad asociado que permita dar a conocer la viabilidad de la implementación de la propuesta.

1.5.2 Objetivos específicos

- Analizar la información de generación y de consumo energético del sistema actual del edificio el Cubo.

- Estudiar las posibles alternativas a implementar, de acuerdo con las necesidades de consumo energético del edificio

- Identificar la viabilidad de las estrategias de eficiencia energética propuestas, a través de indicadores VAN y TIR.

- Presentar y socializar con los directivos del Cubo la propuesta más favorable en cuanto ahorro energético y ahorro económico.

2 Marcos de referencia

A partir de los temas que se abordan las autoras Grafica 1 se entienden los conceptos más relevantes del estudio de investigación realizado como:

2.1 Marco conceptual

Grafica 1 Diagrama fases de la investigación



Fuente: Los autores (2019)

Este proyecto de investigación se concibe desde la necesidad de encontrar las alternativas más eficientes que se puedan implementar en el edificio el Cubo, que sea económicamente favorable y técnicamente viable.

A partir de lo anterior se describen algunos conceptos que se tuvieron en cuenta durante el desarrollo de este documento:

Es preciso indicar que la educación ambiental, se fundamenta en la relación de los ciudadanos con el medio ambiente y la importancia de seguir avanzando en la construcción y renovación de proyectos de infraestructura, basados en tomar conciencia del uso de los recursos naturales y menor contaminación al medio ambiente, como se muestra en los trabajos realizados por el Ministerio de Medio Ambiente y desarrollo Sostenible de Colombia. [2]

Según el Decreto 1076 de 2015 Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, se determina como impacto ambiental: cualquier alteración en el medio biótico, abiótico, socioeconómico, que sea adverso o beneficioso, total o parcial, que pueda ser atribuida al desarrollo de un proyecto, obra o actividad. [3]

Además de lo anterior, la Ley 99 de 1993 General Ambiental de Colombia, artículo 16 cita:

...”[...]d) Estudiar cuidadosamente el ambiente que será afectado en cada propuesta de tarea, evaluando los impactos ambientales en los ecosistemas involucrados, urbanizados o naturales, incluido el entorno socioeconómico, seleccionando la mejor alternativa para contribuir a un desarrollo ambientalmente sano y sostenible, con el objeto de lograr la mejor calidad de vida para la población; e) Rechazar toda clase de recomendaciones en trabajos que impliquen daños evitables para el entorno humano y la naturaleza tanto en espacios abiertos, como en el interior de edificios evaluando su impacto ambiental, tanto en corto como en largo plazo. [4][...]”...

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (ONU Medio Ambiente) es la autoridad ambiental líder en el mundo. Establece la agenda ambiental a nivel global, promueve la implementación coherente de la dimensión ambiental del desarrollo sostenible en el sistema de las Naciones Unidas y actúa como un defensor autorizado del medio ambiente.

Es importante mostrar que, ONU medio ambiente realizó una publicación muy importante indicando que; acelerar la eficiencia energética en productos y equipos es clave, además de ayudar

con el ahorro en los consumos eléctricos, esto permite contribuir a la mitigación del cambio climático y al cumplimiento del acuerdo de París. [5]

Se entiende por construcción ecológica, como bien lo describe la guía de conceptos de LEED; los edificios y las comunidades, incluidos los recursos usados para crearlos y la energía, el agua y los materiales necesarios para operarlos, los cuales producen un efecto positivo considerable en el entorno y la salud humana. Al construir ecológicamente, podemos reducir el daño ambiental. En muchos casos, los edificios ecológicos incluso pueden mejorar el estado del medio ambiente y las personas que los usan. En esta guía, el término edificio ecológico abarca la planificación, el diseño, la construcción, las operaciones y en última instancia, el reciclado o la renovación de las estructuras al final de la vida útil. La construcción ecológica busca soluciones que representen un equilibrio dinámico y saludable entre los beneficios ambientales, sociales y económicos. [6]

Se entiende como sistema energético a la sucesión de actividades las cuales, a partir de una cierta dotación de recursos naturales renovables y no renovables, permiten satisfacer los servicios energéticos.... concepto sustraído de. [7]

Se define como energía a la capacidad que tienen los cuerpos para producir trabajo, los cuales pueden ser: mecánico, emisión de luz, generación de calor entre otros. La energía puede manifestarse en distintas formas como: gravitatoria, cinética, eléctrica entre otras. [8]

Así mismo se definen las energías renovables como aquellas cuyo potencial es inagotable, obtenidas de formas continuas a través de la energía que llega al planeta, como consecuencia de la radiación solar. Las energías renovables son fundamentalmente la energía hidráulica, solar, eólica, biomasa, geotérmica y las marinas. [8]

Se puede precisar que la energía solar se transforma directamente en electricidad mediante células fotovoltaicas. Este proceso se basa en la aplicación del efecto fotovoltaico, que se produce al incidir la luz sobre unos materiales denominados semiconductores; de esta manera se genera un

flujo de electrones en el interior del material que puede ser aprovechado para obtener energía eléctrica.

Además de lo anterior un panel fotovoltaico, también denominado módulo fotovoltaico, está constituido por varias células fotovoltaicas conectadas entre sí y alojadas en un mismo marco. Las células fotovoltaicas se conectan en serie, en paralelo o en serie-paralelo, en función de los valores de tensión e intensidad deseados, formando los módulos fotovoltaicos. [8]

Por su parte la tasa interna de retorno (TIR) es un indicador de la rentabilidad de un proyecto, es decir una herramienta de toma de decisiones de inversión utilizada para conocer la factibilidad de diferentes opciones de inversión. Dicho de otra forma es la tasa que indica, en términos porcentuales, cual ha sido la rentabilidad total que ha obtenido el proyecto, es decir la combinación de la rentabilidad esperada obtenida más la rentabilidad adicional ganada, si la TIR es mayor a 0 la inversión se recupera y se obtiene una ganancia o ahorro adicional y su fórmula matemática es, $TIR = \frac{\sum INGRESOS}{\sum EGRESOS} - 1$. Por lo cual para la aplicación de la formula, se tendrá que tener en cuenta el valor total de la inversión, y los ahorros generados anualmente, durante los años de vida útil de las propuestas.

En el mismo sentido el valor actual neto (VAN) es una medida de la rentabilidad absoluta neta que proporciona el proyecto. [8] Es el valor neto o diferencia entre inversiones realizadas y los flujos de efectivo futuros esperados. El VAN es un indicador ideal por cuanto muestra:

- Si la inversión se recupera
- Si se obtiene la rentabilidad que se esperaba ganar y un adicional.

2.2 Marco teórico

En el marco de este proyecto de investigación se tiene en cuenta que el edificio se desarrolló bajo los lineamientos de certificaciones LEED, por lo que se propone una estrategia de mejoramiento implementando un sistema energético eficiente.

Teniendo en cuenta que, para el desarrollo de cualquier estrategia de implementación para el mejoramiento del funcionamiento del edificio, como es el uso de energía eléctrica a través de fuentes renovables, se propondrá un estudio de costo beneficio, haciendo uso de los indicadores financieros como la TIR y la VAN, determinando si es rentable económicamente la implementación del sistema, siendo estas herramientas idóneas para las primeras fases del proceso.

A continuación, en la Grafica 2 se describe un diagrama de las teorías más distinguidas durante el proceso de evaluación de la edificación:

Grafica 2 Teorías asociadas a la eficiencia energética



Fuente: Los autores (2019)

La eficiencia energética puede contribuir de forma decisiva a la lucha contra el cambio climático, a la mejora de la seguridad energética y de la competitividad. Incluso se plantea por parte de los gobiernos recientemente como un importante dinamizador del desarrollo económico y el empleo (ver Insostenibilidad del sistema energético y vías de solución). [9]

Teniendo en cuenta que el consumo energético a nivel mundial viene en considerable aumento, se deben generar estrategias desde el inicio de los diseños de los proyectos que garanticen el ahorro de energías, es por ello que, si bien se debe ser consciente de la problemática, es conveniente implementar soluciones directas. Impulsar la adopción de los nuevos sistemas de generación de energía eficiente y renovable, disminuyendo la contaminación. LEED se cataloga por ser líder en promover construcción verde. Los edificios tienen un impacto sustancial en la salud y el bienestar de las personas y del planeta. Usan recursos, generan residuos y son costosos de mantener y operar. La construcción ecológica es la práctica de diseñar, construir y maximizar la ocupación operativa de salud y productividad, usar menos recursos, reducir el desperdicio y los impactos ambientales negativos y disminuir los costos del ciclo de vida. Documentado en la página web [10]

U.S. Green Building Council, publica en su segunda edición de la guía de conceptos básicos de LEED y edificios ecológicos. La sustentabilidad no es un tratamiento o un producto de una sola vez. Por el contrario, la construcción ecológica es un proceso que se aplica a los edificios, los sitios, los interiores, las operaciones y las comunidades donde se ubican. El proceso de construcción ecológica fluye a través de todo el ciclo de vida de un proyecto, comenzando por el nacimiento de la idea del proyecto y continuando sin interrupción hasta que el proyecto alcanza el final de su vida útil y sus partes se reciclan o reutilizan. [6]

A través de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático realizada en 1992, la comunidad internacional reconoció el cambio en el sistema climático, sus efectos negativos y la contribución de las actividades humanas en las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera - IPCC, 2013, comprometiéndose a estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, manteniendo el aumento de la temperatura

global por debajo de los 2 grados.

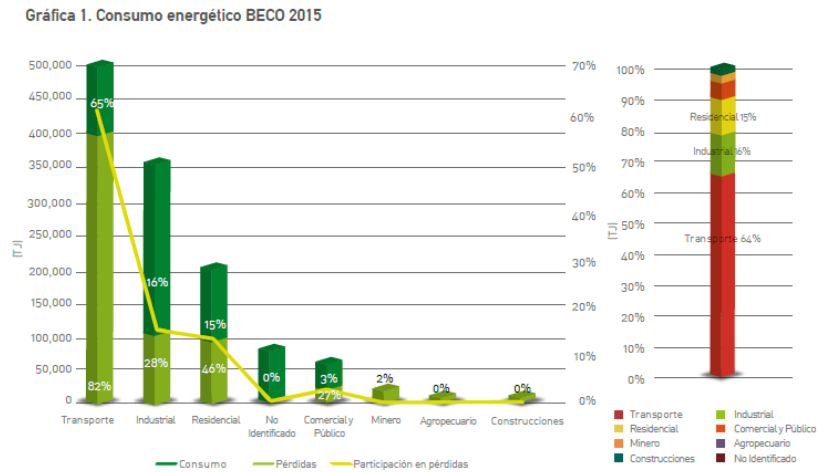
Posteriormente el Protocolo de Kioto, compromete a los países industrializados a estabilizar las emisiones de gases de efecto invernadero. Fue estructurado en función de los principios de la Convención. Establece metas vinculantes de reducción de las emisiones para 37 países industrializados y la Unión Europea, reconociendo que son los principales responsables de los elevados niveles de emisiones de GEI que hay actualmente en la atmósfera, y que son el resultado de quemar combustibles fósiles durante más de 150 años. En este sentido el Protocolo tiene un principio central: el de la «responsabilidad común pero diferenciada». El Protocolo ha movido a los gobiernos a establecer leyes y políticas para cumplir sus compromisos, a las empresas a tener el medio ambiente en cuenta a la hora de tomar decisiones sobre sus inversiones, y además ha propiciado la creación del mercado del carbono. [11]

Resulta indiscutible la importancia de la adopción de medidas para el fomento del desarrollo y la utilización de fuentes energéticas alternativas, con el fin de mitigar la contaminación progresiva en el medio ambiente, aunado en el incremento de costos de operación. Es por eso que se toma como referencia la investigación realizada por el Ministerio de Minas y Energía -MME- • Unidad de Planeación Minero Energética -UPME, en el documento “PLAN DE ACCIÓN INDICATIVO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA 2017 – 2022”, donde se documenta:

Balance Energético Colombiano – BECO

Teniendo en cuenta que en 2015 la proporción de energía útil y pérdidas en la matriz energética nacional fue de 48% y 52% respectivamente, con unos costos estimados de energía desperdiciada cercanos a los 4.700 millones de dólares al año, es claro que el potencial teórico de Colombia para mejorar la eficiencia energética es significativo. Lo anterior se muestra en la Grafica 3

Grafica 3 Consumo energético 2015 UPME



Fuente: adaptado página UPME¹

Mejorar la eficiencia en el consumo energético es de suma importancia para el país. De acuerdo con el balance de gas natural 2016 – 2025 elaborado por la UPME, se estima que a nivel nacional la demanda de este energético en el escenario medio “*alcanzará un crecimiento promedio año de 2,2% entre 2015 y 2035, pasando de 1.060GBTUD a 1.707GBTUD, impulsada por el crecimiento económico, aumento de población y sustitución de algunos energéticos menos eficientes por gas natural, en cumplimiento de las recomendaciones ambientales de la reunión de Paris del año 2015.*”²

De otro lado, también se espera que la demanda interna de energía eléctrica crezca sostenidamente durante los próximos años. Según las proyecciones de demanda de energía eléctrica realizadas por la UPME, se podría esperar un aumento cercano al 52% entre 2016 y 2030³. Adicionalmente, la eficiencia energética es una alternativa complementaria a la diversificación de la oferta para mejorar la seguridad del suministro, manteniendo constante o incluso reduciendo el nivel de

¹ Para mayor información visitar: <http://www1.upme.gov.co/>

emisiones de gases de efecto invernadero y de otras emisiones contaminantes. [12]

2.3 Marco jurídico

A continuación, se describe en la

Tabla 1 el marco jurídico en el cual se engloba la investigación en el ámbito jurídico, elaborado a partir de las fuentes bibliográficas.

Tabla 1. Marco Jurídico

Ley	Fuente	Descripción
<i>Ley 23 de 1973</i>	Congreso de Colombia	“Plantea la necesidad de proteger los recursos naturales renovables, fija límites mínimos de contaminación y establece sanciones por violación de las normas. Se faculta al Presidente de la República para expedir el Código de los Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente.” [13]
<i>Decreto Ley 2811 de 1974</i>	Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.	Artículo 7.o - Toda persona tiene derecho a disfrutar de un ambiente sano. Artículo 9.- El uso de elementos ambientales y de recursos naturales renovables, debe hacerse de acuerdo con los siguientes principios: a) Los recursos naturales y demás elementos ambientales deben ser utilizados en forma eficiente, para lograr su máximo aprovechamiento con arreglo al interés general de la comunidad y de acuerdo con los principios y objetos que orientan este Código. [14]
<i>Ley 99 de 1993</i>	Congreso de Colombia	“Por la cual se crea el MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental - SINA- y se dictan otras disposiciones. TITULO 1, FUNDAMENTO DE LA POLÍTICA AMBIENTAL COLOMBIANA, ARTICULO 1,

		NUMERA 11. Los estudios de impacto ambiental serán el instrumento básico para la toma de decisiones respecto a la construcción de obras y actividades que afecten significativamente el medio ambiente natural o artificial.” [15]
<i>Documento CONPES 3700 de 2011</i>	Documento CONPES	“Estrategia Institucional para la Articulación de Políticas y Acciones en Materia de Cambio Climático en Colombia.” [16]
<i>Resolución 1283 del 03 de agosto de 2013</i>	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	“FNCR y gestión eficiente de la energía para obtener los beneficios tributarios de que tratan los artículos 11, 12, y 14 de la ley 1715 de 2014 y se adoptan otras determinaciones.” [17]
<i>Ley 1715 de 2014,</i>	Congreso de Colombia	Se trata de promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético. [18]
<i>Decreto 2469 de 2014</i>	Ministerio de Minas y Energía	“Por el cual se establecen los lineamientos de política energética en materia de entrega de excedentes de autogeneración.” [18]
<i>Decreto 1076 de 2015</i>	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	“Por medio del cual se expide el Decreto Único del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible” [18]
<i>Decreto Minvivienda Nacional N. 1285 de 2015</i>	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio	“Se establecen los lineamientos de construcción sostenible para edificaciones, encaminados al mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes y al ejercicio de actuaciones con responsabilidad ambiental y social.” [19]
<i>Decreto 2143 de 2015</i>	Ministerio de Minas y Energía	“Por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, 1073 de 2015, en lo relacionado con la definición de los lineamientos para la aplicación de los

		incentivos establecidos en el Capítulo III de la Ley 1715 de 2014.” [18]
<i>Resolución UPME 281 de 2015</i>	UPME y Ministerio de Minas y Energía	Por la cual se define el límite máximo de potencia de la autogeneración a pequeña escala. [18]
<i>Ley 1844</i>	Acuerdo de París	“Por medio de la cual se aprueba el Acuerdo de París adoptado el 12 de diciembre de 2015, en París Francia 14 julio 2017” [20]
<i>Resolución MinAmbiente 1283 de 8 agosto de 2016</i>	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Por la cual se establece el procedimiento y requisitos para la expedición de la certificación de beneficio ambiental por nuevas inversiones en proyectos de fuentes no convencionales de energías renovables - FNCER y gestión eficiente de la energía, para obtener los beneficios tributarios de que tratan los artículos 11, 12, 13 y 14 de la Ley 1715 de 2014 y se adoptan otras determinaciones. [18]
<i>Resolución MinAmbiente 1312 de 11 agosto de 2016</i>	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	“Por la cual se adoptan los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA, requerido para el trámite de la licencia ambiental de proyectos de uso de fuentes de energía eólica continental y se toman otras determinaciones.” [18]
<i>Decreto 1543 de 16 sept 2017</i>	Ministerio de Minas y Energía	“Mediante el cual creo el fondo de energías no Convencionales y gestión eficiente de la energía (FONOGE)”. [21]
<i>Decreto 463 de 2018</i>	Unidad de Planeación Minero Energética UPME	“Por la cual se establece el procedimiento para conceptuar sobre los proyectos de eficiencia energética/gestión eficiente de la energía que se presente para acceder a los beneficios tributarios sobre el IVA y/o renta conforme a los establecido en el literal d) del artículo 1.3.1.14.7...” [18]
<i>Resolución 030 de 16 feb 2018</i>	Ministerio de Minas y Energía	“Por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el sistema interconectado Nacional”. [22]
<i>CONPES 3919 de 23 marzo de 2018</i>	CONPES	Política Nacional de edificaciones sostenibles. [23]

CONPES 3934
de 10 julio de
2018

CONPES

Política de crecimiento verde. [24]

Fuente: Los autores (2019)

2.4 Marco geográfico

El edificio El Cubo de Colsubsidio, el cual es objeto de estudio en esta investigación, está ubicado en el Departamento de Cundinamarca, de la ciudad de Bogotá, cuya dirección es Av. Carrera 30 # 52-77. Bogotá es una ciudad extensa de gran altitud, 2.630 metros sobre el nivel del mar capital de Colombia, con una superficie de 1,775 m2, población: 8.081 millones (2017), humedad: 70%. En las siguientes graficas se visualiza la localización del edificio

Grafica 4, Grafica 5 y

Grafica 6

Grafica 4 Localización



Fuente: Captura Google earth. - Elaboración propia

Grafica 5 jerarquía espacial



Fuente: Modificado YouTube²

Grafica 6 Fachada



Fuente: Modificado YouTube²

La edificación fue diseñada y construida estratégicamente previendo que otras construcciones afecten las características arquitectónicas de la misma, ya que esta se encuentra situada sobre dos avenidas; como lo son: AV. Carrera 30 NQS y prolongación de la AV. Calle 53, siendo esto una

² Para ver video visitar: <https://www.youtube.com/watch?v=5a3A7jNG87c>

gran ventaja de movilidad para las personas que hacen uso de las instalaciones del edificio.

2.5 Marco demográfico

El centro empresarial y recreativo El Cubo cuenta con un área construida de 32.000 m², distribuida en seis (6) pisos en cada uno de los cuales existe una infraestructura adecuada para los servicios que ofrece:

Primer piso; allí se encuentra el gran salón de convenciones con capacidad para 1.000 personas y es el primero en Bogotá con una altura de 5 metros sin ninguna barrera arquitectónica ni columnas; su excelente acústica se logra gracias a sus paredes aisladas con fibras especiales y con madera tratada para evitar el eco. De igual forma cuenta con 4 salones para conferencias y seminarios, 6 salas para reuniones directivas, 1 salón para teleconferencia con capacidad para 20 personas y 1 centro de negocios que pueden utilizar simultáneamente 20 usuarios. A esto se le suma un café hall, un restaurante café, con 80 puestos y autoservicio con capacidad para 90 personas. El segundo piso cuenta con una sala Infantil con capacidad 30 para niños y niñas mayores de 4 años, una sala para jóvenes con simuladores diseñados para diferentes edades, internet, Wii y XBox; una sala de lectura para adultos equipada con televisión e internet, y una cocina del chef, en donde se realizan talleres especializados y reuniones privadas. Al igual se encuentra la bolera con 12 pistas distribuidas en dos niveles las cuales cuentan con tecnología de punta. En el tercer piso. En éste se encuentra el Gimnasio con capacidad para 200 personas, el spa, las zonas húmedas, y una piscina semiolímpica con todas las especificaciones para competencias internacionales. Dentro del cuarto piso se halla un polideportivo con canchas de baloncesto, voleibol y ping – pong, al igual cuenta con cuatro canchas de squash con luz natural y tres simuladores virtuales de golf profesional para practicar golpe y distancia, con todas las barreras de dificultad existentes en un campo de golf real el complemento es el quinto piso donde se encuentran campos de golfito y putting green y un café hall. Por último, el sexto piso, alberga una cancha de fútbol 5 con grama sintética la cual cumple todas las especificaciones internacionales de una cancha profesional.

El edificio El Cubo tiene 6 café express distribuidos por diferentes pisos, sistema abierto WiFi,

consultorio de medicina deportiva y variedad de terrazas; además es una construcción responsable que incorpora la eficiencia en energía, la mejora de la calidad ambiental interior, el ahorro en el consumo de agua y la búsqueda del confort para sus ocupantes desde el desarrollo sostenible de los espacios libres y la selección de los materiales. [20]

Seguido de esto se referencia la cantidad de personas en promedio que ingresaron al edificio el Cubo en el año 2018, según los datos que han sido aportados por la administración del centro empresarial lo cuales se muestran en la Tabla 2

Tabla 2 Ingreso de usuarios al Cubo 2018

USUARIOS	AÑO 2018
Eventos Empresariales	18.148
Asesorías deportivas	5.904
Entradas Integrales	834
Entradas Individuales	5.747
Pasadías	42
Productos por segmento	110
Adulto mayor	953
Escuelas	10.896
Mantenimiento deportivo	197
Titqueteras	2869
Gimnasio	23.669
Alquiler escenarios	458
Empleados	5.096
Outsourcing	1680
Temporales A y B eventos	245
Total	76.848

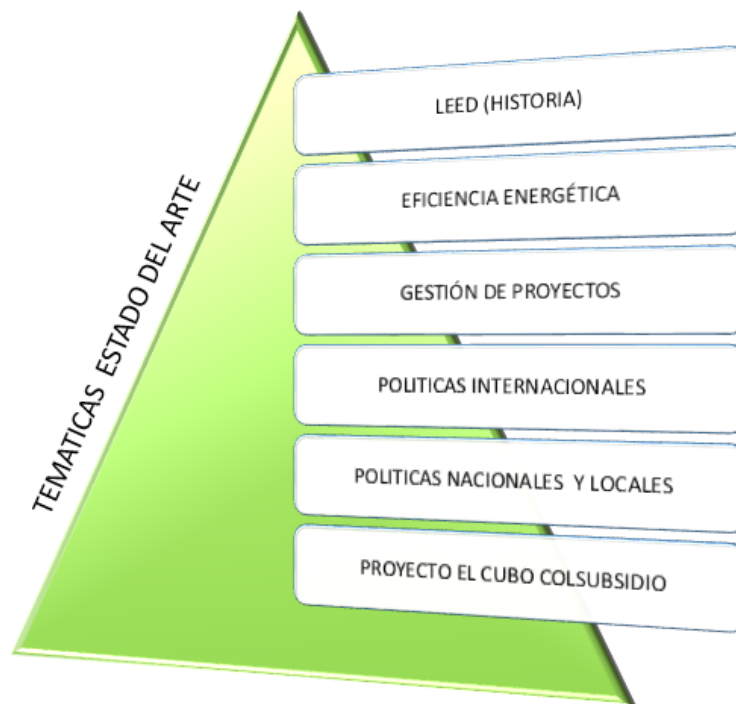
Fuente: Los autores (2019)

En lo que se refiere a responsabilidad social con la comunidad aledaña, este proyecto ha contribuido al embellecimiento de la zona, se trabajó conjuntamente con Planeación Distrital en procura de un flujo correcto del tráfico vehicular con el fin de evitar traumatismos en ese sentido.

2.6 Estado del arte

El presente estado del arte se desarrolla a partir de las temáticas mostradas en la siguiente Grafica 7

Grafica 7 Temáticas asociadas al estado del arte



Fuente: Los autores (2019)

Historia LEED

La Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, define el desarrollo sostenible “como aquel que garantiza las necesidades del presente sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” [21] En este año la presidenta de la comisión Gro Harlem Brundtland, escribió el informe titulado “Nuestro Futuro Común”, [22] en el que se cuestionan las consecuencias medioambientales negativas del desarrollo y la globalización y se plantea la necesidad de avanzar en un “Desarrollo Sostenible”. Para Brundtland

es clara la necesidad de los países y ciudades por seguir creciendo, pero propone que se haga además de organizada, responsablemente y cuidando los recursos para las generaciones futuras. En esta misma concepción se habla de 3 factores que proporcionarían un equilibrio 1) Protección Medio Ambiental; 2) Desarrollo Social; y 3) Crecimiento Económico. Desde este punto de vista la construcción sostenible podría definirse, como la construcción que brinda calidad de vida a la población permitiendo el desarrollo social y el crecimiento económico de las mismas, respetando el medio ambiente y cuidando sus recursos para el futuro.

“Los edificios consumen entre el 20% y el 50% de los recursos naturales según su entorno, siendo la construcción un gran consumidor de recursos naturales como la madera, determinados minerales, el agua y la energía” [23]

La construcción sostenible acoge criterios que van desde la elección de los materiales y los procesos constructivos, hasta el entorno urbano y su desarrollo. “Este tipo de edificaciones busca la adecuada gestión de los recursos naturales, tales como el agua, y el ahorro de energía” [24]. Una edificación sostenible busca el menor impacto negativo para el medio ambiente y el mayor impacto positivo para las personas que habitan en dicha edificación. Un edificio sostenible es más saludable, consume menos energía, genera menores gastos, como explica la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos.

La Sostenibilidad implica mayor funcionalidad, mayor independencia energética, ahorro económico, también en el ámbito de la construcción residencial o incluso la obra civil. Para diseñar edificaciones sostenibles es necesario estudiar el entorno, y crear estrategias de diseño convenientes para la calidad de vida de las personas y que a su vez atiendan medidas de prevención, adaptación y mitigación, entre otros impactos al medio ambiente como lo es el cambio climático y el calentamiento global, dados por los abusos generacionales de los recursos naturales.

"Los edificios, también, son hijos de la tierra y el sol" (Frank Lloyd Wright 1867-1959) Lo que el arquitecto entonces, tiene como responsabilidad, es al diseñar y construir una vivienda la posibilidad de evitar al máximo los efectos negativos al medio ambiente, así que los edificios no deben ser bloques de materiales de construcción hechos sin contexto, se deben considerar los

aspectos que afectara o beneficiara la construcción de dicha edificación.

En 1993, Rick Fedrizzi, David Gottfried y Mike Italiano establecieron el Consejo de Construcción Verde de los Estados Unidos. La cual tiene la misión, promover la sostenibilidad en la construcción y la industria de la construcción.

En abril, representantes de aproximadamente 60 firmas y algunas organizaciones sin fines de lucro se reunieron en la sala de juntas del American Institute of Architects para la reunión de fundación del consejo.

Fue allí donde se emitieron por primera vez ideas para una coalición abierta y equilibrada que abarcara toda la industria de la construcción y un sistema de calificación de edificios ecológicos. [25] Hoy, el distrito electoral de El U.S. Green Building Council (USGBC) incluye constructores y ambientalistas, corporaciones y organizaciones sin fines de lucro, funcionarios electos y ciudadanos preocupados, maestros y estudiantes.

El USGBC nace tal vez como una especie de retribución al medio ambiente, es claro que no se puede cambiar el daño que se le ha hecho al mismo, pero si se puede llegar a mitigar de manera significativa el agotamiento de los recursos, sin perder el confort y la calidad de vida.

A través del tiempo y debido los desarrollos tecnológicos los seres humanos han creado la necesidad de consumos energéticos exorbitantes, los cuales han llevado a la explotación abusiva de recursos naturales como fuentes de energía primaria (el carbón, el uranio, el gas natural, el petróleo, la leña, el bagazo y otros residuos vegetales) que son finitos en el mundo, y que sin que la necesidad de uso haya desaparecido se puede conservar por más tiempo, implementado estrategias con energías renovables.

La USGBC es una organización comprometida con un futuro próspero, saludable y sostenible a través de edificaciones saludables y sostenibles, costo-eficientes y de bajo consumo. El USGBC trabaja por la transformación del mercado a través de su sistema de certificación en construcción sostenible LEED®, su evento anual Greenbuild de conferencias y exposición internacional, el Center for Green Schools, y gestión desde las políticas públicas para fomentar este tipo de prácticas sostenibles en las edificaciones y comunidades. [25]

Desde su presentación en marzo de 2000, el sistema de certificación de construcción ecológica

LEED (Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental) ha distinguido proyectos comerciales, institucionales y residenciales que se destacan por su excelente desempeño ambiental y de salud tanto en los Estados Unidos como en el extranjero.

A pesar de existir más tipos de certificaciones en el mundo como la BREEAM, la PASSIVHAUS, la VERDE o la MINERGIE y algunas de ellas con mayor antigüedad que la certificación LEED, es esta última la más referenciada y la que más aplican los constructores en el mundo.

Los sistemas de calificación de edificios ecológicos, como LEED, presentan vías normativas hacia la sostenibilidad al recompensar ciertos tipos de actividades consideradas sostenibles. Uno de los desafíos es que las recompensas a menudo se desvinculan de los resultados ambientales. En uno de sus artículos la revista Energy and Buildings demuestra este desvío con un estudio en California que muestra que la variabilidad en el dióxido de carbono implícito evitado por el punto de eficiencia de energía o agua de LEED puede abarcar múltiples órdenes de magnitud, incluso para contextos de construcción similares. Esta variabilidad de acuerdo a los autores está relacionada tanto con los problemas que LEED ya considera, como el tipo de edificio, y con los problemas de la cadena de suministro que no se consideran directamente en LEED, como la mezcla de combustible de electricidad para edificios e infraestructura de agua. [26]

LEED es el sistema de certificación más utilizado en el mundo para el diseño, construcción, mantenimiento y operación de construcciones sostenibles. Al utilizar menos energía, los espacios certificados LEED ahorran dinero a las familias y empresarios, reducen las emisiones de carbono y contribuyen con ambientes saludables para el uso de residentes, trabajadores y la comunidad en general. LEED es reconocida mundialmente por ser símbolo de excelencia en construcciones sostenibles cuya misión es transformar la manera en que los edificios y las comunidades se diseñan, construyen y operan, permitiendo un ambiente ambiental y socialmente responsable, saludable y próspero que mejore la calidad de vida. [25]

En la actualidad, existen más de 14.000 construcciones en todo el mundo con certificación LEED. Entre ellos, hay viviendas pero también se encuentran oficinas, supermercados y restaurantes. En total, la certificación LEED evalúa los edificios según 6 criterios:

- Sostenibilidad en los materiales y recursos de construcción.
- Eficiencia y aprovechamiento del agua, tanto durante la construcción del mismo como cuando el edificio esté en uso con el fin que se planeó en un principio (reutilización del agua y evitar las fugas).
- Eficiencia energética desde la construcción, contando además con el menor impacto atmosférico.
- Materiales y recursos empleados que sean respetuosos con el medio ambiente.
- Calidad del ambiente interior que permita la óptima habitabilidad del mismo, sin tener que recurrir a más energía que la necesaria para caldear o enfriarlo.
- Innovación en el proceso de diseño, dando protagonismo a todos los recursos ecoeficientes.

Pese a que todos estos puntos son importantes, la eficiencia energética es el valor que más puntúa, buscando el ahorro, beneficioso tanto para el medio ambiente como para los que utilizan el edificio.

Eficiencia Energética

En la búsqueda de fuentes de energías alternativas y renovables, pero a su vez para proteger el medio ambiente, los ingenieros, investigadores y gobiernos contemporáneos han fijado su atención en el sol como la fuente primaria de energía ya que es infinita e inagotable, considerando el periodo de existencia de la humanidad. En Cuba, a partir de la “Revolución Energética” impulsada por el comandante en jefe Fidel Castro Ruz desde principios de la década pasada, se viene desarrollando un gran esfuerzo en el desarrollo de sistemas para el aprovechamiento de la energía solar, tanto para el calentamiento directo como es la energía solar térmica, como en su conversión en energía eléctrica en paneles solares fotovoltaicos [27]

La energía primaria es la que se obtiene de fuentes de origen, sin haber sufrido ningún proceso de transformación. Las fuentes primarias de energías que más se utilizan actualmente son las de combustibles fósiles (carbón, gas, petróleo), la nuclear (fisión, fusión), y todas las demás renovables (obtenidas directamente del sol). Estas son usadas por el hombre para la obtención de trabajo y calor, a partir de estas fuentes de energía se obtiene electricidad, vapor, calor entre otros. Al rededor del 74% de la energía primaria consumida en la actualidad a nivel mundial proviene de combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural), es decir, que la mayor parte de la energía que

consumimos se agotará en un espacio de tiempo más o menos corto, ya que el consumo mundial aumenta un 2% de media cada año. Este crecimiento del consumo, que aparentemente parece imparable, se está efectuando a un ritmo tal, que se prevé que en 100 años estos recursos se encuentren agotados [28] Los principales recursos energéticos de los cuales se puede disponer en energías renovables son: el sol, el viento, la biomasa, la geotérmica, la hidráulica, la eólica. A continuación, en la Tabla 3 Se presenta un cuadro de ventajas, desventajas e impactos de estos sistemas que brindan un primer acercamiento a sus aplicaciones dependiendo de la edificación o equipamiento para el que se requiera.

Tabla 3 Fuentes de energía - ventajas y desventajas

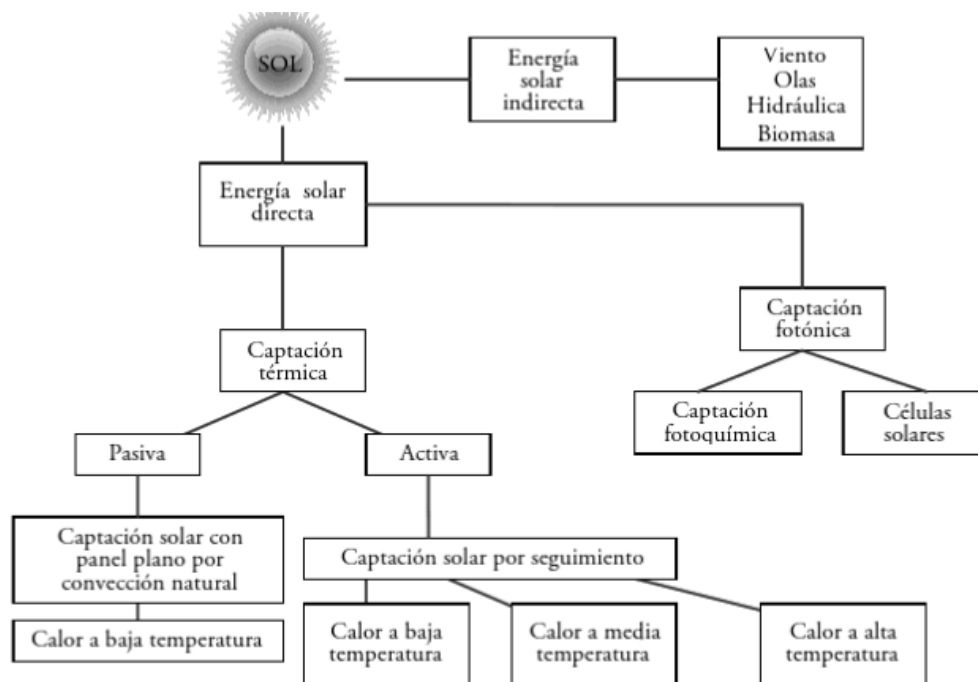
Fuente de energía	Eólica	Geotérmica	Hidráulica	Solar
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Gratuita - Limpia - Inagotable 	<ul style="list-style-type: none"> - Ahorro de las energías fósiles - Inagotable - Menor impacto que las energías fósiles 	<ul style="list-style-type: none"> - Suministra energía en horas pico - Inagotable - Limpia 	<ul style="list-style-type: none"> - Solo se paga la instalación - Inagotable - Limpia - Elevada calidad energética
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Dispersión - Aleatoria - Difícil almacenamiento - Aerogeneradores costosos y de gran tamaño 	<ul style="list-style-type: none"> - Aplicación local - No puede transmitirse a grandes distancias - La elevada humedad propicia daños en las instalaciones 	<ul style="list-style-type: none"> - Aleatoria (depende del año hidrológico) - Implementación costosa (centrales y transportes) 	<ul style="list-style-type: none"> - Llega a la tierra de forma dispersa y aleatoria - No se puede usar directamente
Impacto ambiental	<ul style="list-style-type: none"> - Ruido - Impacto visual - Interferencias con radio y televisión 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere mucho terreno - Erosión en el suelo e inducción a la actividad sísmica - Ruido, gases, agua 	<ul style="list-style-type: none"> - Cambios en ecosistemas - Pérdida de suelos, - Variaciones de caudales y alteraciones en el clima local 	<ul style="list-style-type: none"> - Impacto visual (sugestivo) - Diseño de áreas para su instalación

Fuente: Las autoras (2019)

El Sol es una esfera de gas compuesto, 90% de hidrógeno, 7% de helio y aproximadamente un 3% del resto de elementos químicos, en él se producen millones de reacciones nucleares por medio de la fusión. Su vida se estima en unos 5.000 millones de años. [28] El aprovechamiento se puede obtener de distintos modos, pero principalmente a través de la captación térmica y fotovoltaica captación directa e indirecta

Grafica 8. Existen dos formas de captación directa e indirecta

Grafica 8 Captación de la energía



Fuente: Tobajas, C. (2017) ³

Para la captación de energía solar directa, existen dos subtipos de captación, la captación de energía solar térmica la cual es aquella que no involucra el uso de ningún elemento mecánico, y se hace a partir de elementos arquitectónicos que recogen y almacenan de forma natural la energía y para su

³ Tomada del libro Energía Solar Térmica 5ta edición.

distribución se utilizan los fenómenos naturales de circulación de aire. Su incursión en la arquitectura se da con mayor frecuencia en elementos como: masa térmica, la cual está formada por cuerpos estructurales o volúmenes dentro del diseño de la edificación, destinados al almacenamiento. Por su parte la captación de energía solar fotónica consiste en la transformación de la energía solar en energía eléctrica, para ello se han diseñado las células fotovoltaicas conformadas por capas delgadas de materiales semiconductores como el silicio, donde los fotones que no son más que la energía de la luz solar, estimula los electrones del material semiconductor y su flujo genera electricidad. El sistema de captación de energía fotónica por el contrario que la energía termina no se fusiona tan estéticamente con los diseños arquitectónicos, por el contrario, este funciona como un elemento independiente superpuesto generalmente en alguna cubierta el cual consiste de celdas fotovoltaicas, regulador de carga, batería y sistema de utilización.

Pese a que cada vez las organizaciones mundiales se suman a la implementación de energías renovables, es notorio que su acceso aun presenta dificultades. En países subdesarrollados como Colombia uno de los más importantes es el factor económico, ya que el uso de estas tecnologías representa una mayor inversión que las tecnologías convencionales. Sin embargo, es necesario que las sociedades conozcan los beneficios de los sistemas de energía renovables y que así mismo los diseños arquitectónicos se adecuen a estos modelos. Todas las entidades sin discriminar públicas o privadas deben hacer el esfuerzo para contribuir con el uso de las energías renovables ya que esto influirá en la factura de las energías convencionales.

Gestión de Proyectos – Estrategias

Las corporaciones y empresas comprometidas con la conservación, uso eficiente y correcta gestión de la energía requieren del establecimiento de unas estrategias claras que les permita establecer y alcanzar objetivos de reducción de consumos y reducción de su impacto ambiental. La eficiencia energética se articula como elemento fundamental orientada al control y reducción del consumo energético y por tanto, está orientada a la reducción de costes, la mejora de la competitividad, la reducción de emisiones de CO₂ y la mejora de procesos, equipos e instalaciones asociadas. Este

mejor aprovechamiento de la energía, puede ser complementado con la generación de energías renovables propias o de terceros. Por lo tanto, la eficiencia energética aporta beneficios económicos netos y son la alternativa con mayor capacidad para reducir las emisiones junto al uso de tecnologías no contaminantes como son las de origen renovable.

Como paso previo a cualquier propuesta, es necesario identificar claramente la situación actual, disponer de un histórico de datos de consumo, conocer los costes asociados al suministro, conocer los componentes básicos de nuestras instalaciones y los hábitos de los usuarios para de esta forma determinar el punto de partida.

Todo plan que requiera de una inversión debe incluir un exhaustivo análisis de las necesidades de capital necesarias y las alternativas posibles, así como de la disponibilidad de ayudas y subvenciones públicas de las que pueda beneficiarse la propuesta.

Las nuevas aplicaciones tecnológicas en iluminación han experimentado un importante desarrollo gracias a la madurez de nuevas tecnologías que han aportado significativos ahorros en consumos.

Las aplicaciones de menor inversión al alumbrado están orientadas a la sustitución de lámparas, luminarias y equipos auxiliares más eficientes, incorporación de balastos electrónicos para lámparas fluorescentes, aprovechamiento de la luz natural, incorporación de detectores de presencia, sistemas de regulación y control en alumbrado. La sustitución de las lámparas, luminarias y equipos auxiliares más eficientes, como por ejemplo la sustitución de lámparas convencionales por otras de tecnología LED, que han logrado reducciones de consumos energéticos considerables en las instalaciones tanto de alumbrado interior como exterior.

Las aplicaciones en la producción de origen renovable en el ámbito industrial, terciario y doméstico han experimentado un extraordinario desarrollo en las últimas décadas. El aprovechamiento de la energía solar, eólica y la biomasa están muy cercanos a los usuarios finales.

Existen numerosas posibilidades a valorar como son la **energía solar térmica** para la generación de ACS (Agua Caliente Sanitaria) o calefacción a baja temperatura, la aplicación de la **energía solar fotovoltaica** y la **energía eólica** para la generación de electricidad, el aprovechamiento residual de la biomasa para la generación térmica, etc.

La elección de los componentes de la instalación (fuentes de luz, equipos eléctricos, luminarias, etc.) tienen así mismo un impacto relevante en la operación y mantenimiento de las instalaciones. Gracias a una selección exigente en los fabricantes se pueden lograr sinergias y mejoras en la explotación de estos sistemas gracias a tiempos de vida útil largos lo que minimiza la sustitución de componentes en el mantenimiento correctivo así como en los mantenimientos preventivos que impliquen una reposición masiva.

La rentabilidad de la instalación es uno de los pilares fundamentales en los que se basan los constructores que deciden implementar sistemas de energías renovables.

La mayor inversión en la instalación de energía solar se compensa con los ahorros conseguidos en costos energéticos, (recibos de servicios públicos) y mantenimiento. Se expresan como un flujo de caja negativo en el momento de realizar la inversión y unos flujos de caja positivos a lo largo del tiempo que representan los ahorros conseguidos. Todo ello nos da un periodo de retorno de la inversión, conocido como PIR, y una tasa interna de rentabilidad conocida como TIR. El punto de partida debe ser la curva de demanda energética y las instalaciones contempladas tendrán que cubrir dicha curva para que ambas sean comparables; pero lo anterior supone que las instalaciones de energías renovables (solar térmica y solar fotovoltaica) deberán contar con un sistema de apoyo, que seguramente será el convencional, situación que se deberá tener en cuenta a la hora de evaluar la diferencia entre las inversiones. De igual forma el sistema de apoyo tendrá un cierto consumo y un mantenimiento, motivo por el cual también aumentarán estos costos. Para este mismo análisis existe otro factor importante que es la vida útil, que se refiere al tiempo que un activo determinado se mantiene operativo para su funcionamiento. Las instalaciones de energía solar térmica y solar fotovoltaica apenas tienen partes móviles sujetas a desgaste y por lo tanto su vida útil es muy

prolongada, al menos unos 25 años, y después de pasado este tiempo los sistemas seguirán en funcionamiento pero su productividad ira disminuyendo. Este factor se deberá tener en cuenta en el ítem de inversión por reposición de equipos.

Políticas internacionales

Uno de los grandes retos a los que se enfrenta la humanidad en el siglo XXI es el cambio climático. Las medidas de eficiencia energética, que suponen producir más bienes y servicios con menor cantidad de energía, pueden cumplir simultáneamente objetivos de política energética y de política climática. La política climática, que abarca todas las medidas de reducción de gases de efecto invernadero puede, a su vez, tener un impacto positivo en materia energética al incentivar mejoras en la eficiencia energética. Históricamente, sin embargo, la eficiencia energética y los acuerdos climáticos internacionales se han reforzado mutuamente solo de manera tangencial, existiendo un amplio margen de mejora en el futuro. [31]

Cada vez son más los países en desarrollo como México, China, Turquía, India, Viet Nam, Brasil y Sudáfrica se están innovando en energía sostenible y han implementado políticas para promover el acceso a la energía, las energías renovables y la eficiencia energética.

De acuerdo al informe presentado por el Banco Mundial en 2017, titulado RISE (Regulatory Indicators for Sustainable Energy) y en el que se presentan indicadores de políticas sobre energía sostenible, se señala que en cada región del mundo, y en particular en África al sur del Sahara, hay muchísimo margen para lograr mejoras. [32]

RISE es el primer sistema mundial de este tipo para la calificación de políticas, al incluir dentro de su evaluación a 111 países en tres aspectos: acceso a la energía, eficiencia energética y energía de fuentes renovables. La finalidad del informe es ayudar a los Gobiernos a determinar si cuentan con un marco regulador y de políticas para propiciar avances en materia de energía sostenible, y señala que en este ámbito se puede incursionar más para atraer inversión privada. RISE también permite a los países medir su desempeño en comparación con otros y hacer un seguimiento de sus progresos a lo largo del tiempo.

Por su parte El Consejo Mundial de la Energía (CME) lleva casi un siglo manejando el debate sobre la energía, sirviendo de guía para las ideas e impulsando empresarios en todo el mundo para conseguir que todos puedan acceder a una energía sostenible. El CME se trata de una institución del sector de la energía acreditado por la ONU y la principal red, albergando a más de 3.000 organizaciones públicas y privadas en aproximadamente 100 países. El CME informa y sirve de guía a las estrategias del sector de la energía a nivel internacional, nacional y regional mediante la organización de eventos de alto nivel, la publicación de estudios y el fomento de la colaboración entre los miembros de su organización, para fomentar una comunicación que permita crear políticas energéticas. La ocupación independiente e inclusiva del CME alcanza a todas las naciones y todo el aspecto energético: desde los combustibles fósiles hasta las fuentes de energía renovables. En España por ejemplo se creó en 2012 el Plan Nacional de Ahorro y Eficiencia Energética (PNAEE) en donde se establece que el consumo de energía de la Unión Europea en el año 2020 no puede ser superior a 1.483 Mtep de energía primaria o 1.086 Mtep de energía final. Este objetivo supone una reducción de aproximadamente 400 Mtep con respecto al año base considerado para el análisis (año 2007). Algunos investigadores plantean las mejoras en las regulaciones actuales sobre los beneficios tributarios sobre el impuesto sobre bienes inmuebles y sobre el impuesto sobre edificaciones, instalaciones y trabajos de infraestructura. [33] Otros analizan por ejemplo cómo los estados están incorporando la eficiencia energética en los planes de distribución actual y la planificación de recursos distribuidos, enfocándonos en los países que utilizan activamente la eficiencia como un recurso. [34]⁴

Por su parte desde fines de 2009, 23 estados de EE UU establecieron su Energy Resources for State, Local, and Tribal Governments - EERS y permitieron que la eficiencia energética cumpliera total o parcialmente con un RISE. Texas, por ejemplo, exige a las empresas de servicios públicos que el 20 % del incremento pronosticado para los picos de demanda de energía eléctrica se compense con programas de eficiencia. Carolina del Norte establece que la eficiencia energética

⁴ Para ampliar la información sobre este artículo dirigirse a <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1040619018302495>

cumpla con el 25 % (que se va a elevar hasta el 40 %) de sus RISE. [35]

Políticas Nacionales

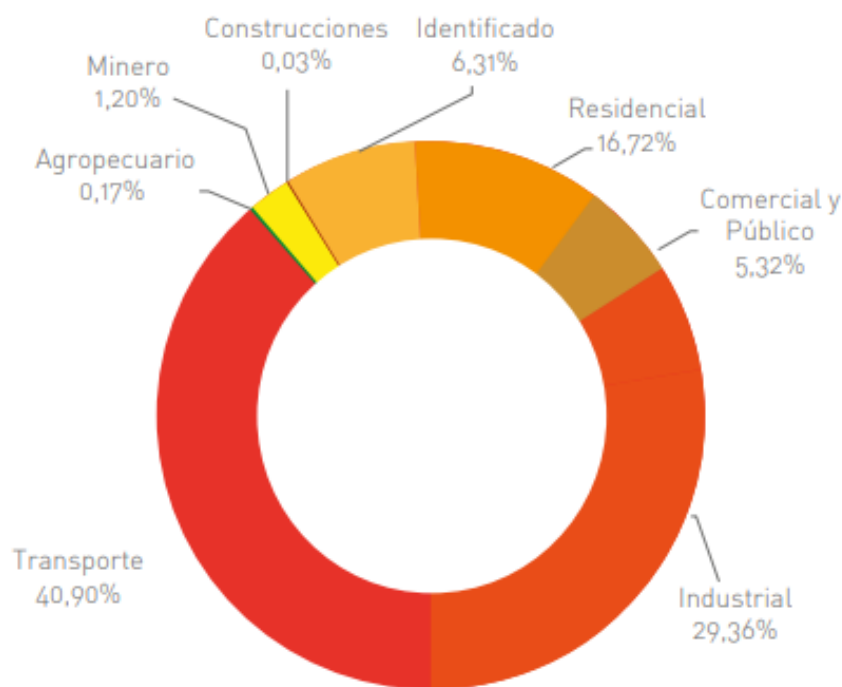
En 2008, fue fundado el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible - CCCS siendo una organización privada sin ánimo de lucro, comprometida con elevar el nivel de sostenibilidad de todos los usos de las edificaciones nuevas y existentes y de las ciudades en general, asegurando con mejores prácticas de urbanismo y construcción sostenible, entornos prósperos, ambientalmente responsables, inclusivos y saludables para todos. El CCCS es el colaborador en el país del World Green Building Council y aliado de organizaciones como el World Resources Institute para el Programa BEA y el U.S. Green Building. [36]

Para lograr el desarrollo, promoción y aplicación de técnicas y tecnología relacionada con Eficiencia Energética (EE) y Energía Renovables (ER) se requiere de un marco de política energética y regulación adecuado que permita remover las barreras que impiden el desarrollo de estas fuentes de energía para promover así su desarrollo. El Consejo Colombiano de Eficiencia Energética - CCEE hace seguimiento continuo al avance y desarrollo de la política energética y la regulación en Colombia, apoyando su desarrollo y aplicación desde su creación en diciembre de 2010. El CCEE es una organización civil la cual está comprometida con brindar aportes técnicos al desarrollo de marcos políticos y regulatorios para el desarrollo de EE y ER en beneficio de toda la sociedad y compañías que se encuentren interesadas en adquirir estos servicios, y en especial para el beneficio del sistema energético Colombiano. [37]

El ministerio de minas presento el Plan de Acción Indicativo de Eficiencia energética 2017 – 2022 el cual tiene como objetivo general definir las acciones estratégicas y sectoriales que permitan alcanzar las metas en materia de eficiencia energética; de manera que se contribuya a la seguridad energética y al cumplimiento de compromisos internacionales en temas ambientales; generando impactos positivos en la competitividad del país y en el incremento de la calidad de vida de los colombianos. En el documento en la Grafica 9 se muestra la distribución de consumo de energía final en el año 2015. Este consumo se concentra en los sectores transporte (40,2%), industrial

(28,9%) y residencial (16,5%). Por su parte, el sector terciario presenta un consumo cercano al 5%, el cual, a pesar de ser bajo, presenta importantes oportunidades de mejoramiento de la eficiencia energética en segmentos como el comercial, entidades públicas y alumbrado público. [38]

Grafica 9 Distribución de Consumo de Energía Final. Colombia – 2015



Fuente: Modificado UPME (2016)

Como parte de las iniciativas del plan en el sector de la construcción y edificaciones, se desarrollaron 27 auditorías energéticas en sedes administrativas de entidades públicas del orden nacional, regional y local (principalmente ministerios, gobernaciones, alcaldías y corporaciones autónomas regionales), con el fin de obtener una comparación de su consumo energético e identificar y promover las oportunidades de mejora que aporten al uso eficiente de la energía, que harían parte de sus planes de gestión eficiente exigidos por la ley 1715, por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional. [39] Las auditorías estimaron un potencial de ahorro de este sub sector de alrededor de un 40% sobre la línea base de consumo de electricidad. Este potencial, se encuentra distribuido en mejoras

en iluminación, que puede estar entre el 8% y el 13%, optimización del aire acondicionado entre un 10% y 18% y ofimáticos en un 5%. Adicionalmente, hay un potencial estimado por cuenta de readecuaciones arquitectónicas de entre un 10 a 15%.

En el Plan de Acción Indicativo de Eficiencia energética tan bien se establecen los incentivos tributarios para EE (exclusión de IVA y deducción de renta líquida), que se otorgan actualmente bajo el mandato del Estatuto Tributario, ET, derivado de los artículos 158-2 (Renta Líquida, RL - por inversiones en control y mejoramiento del medio ambiente), 424-7 (exclusión de IVA para equipos nacionales o importados); a partir de la reglamentación de una excepción contenida en los decretos reglamentarios 2532 de 2001 (IVA) y 3172 de 2003 (RL), que mencionan que los equipos para proyectos de eficiencia energética no serían objeto de los beneficios a menos que dichos proyectos correspondieran al cumplimiento de metas ambientales concertadas entre los ministerios de ambiente y minas y energía.

Pese a lo anterior las leyes en Colombia aún no están maduras y existen muchos vacíos técnicos y jurídicos en cuando a la regulación e implementación de sistemas de eficiencia energética, asociados también al coste y mano de obra de las instalaciones y equipos, sin embargo vale la pena mencionar que análisis realizados por el CCCS indican que los sobrecostos asociados a la construcción de edificaciones sostenibles en el país son menores al 5% con periodos de recuperación de la inversión entre tres y cinco años [39] la cual constituye un hecho fundamental para impulsar esta estrategia.

LEED Colombia

En Colombia se han promovido proyectos con miras a certificarse en LEED en edificaciones, en su gran mayoría de entidades privadas. El país cuenta con 24 certificados y 90 proyectos más registrados, de los cuales 13 ya se encuentran pre certificados. Del total mencionado, el 48% corresponde a nuevas construcciones, 7% al mejoramiento de construcciones existentes, 7% a centros de salud y colegios, y 38% a edificios de diferentes usos comerciales. Bogotá y Medellín son las ciudades que cuentan con mayor número de proyectos LEED (49% y 14% respectivamente). Los ahorros en iluminación, asociados a estos proyectos nuevos, se encuentran

entre el 20% y hasta 47%, y en el uso por aire acondicionado desde 20% hasta 37% al utilizar ventilación mixta. Colombia cuenta en la actualidad con 147 profesionales certificados LEED.

Al cumplir con los estándares LEED, se puede reducir la generación de residuos hasta 90%, igualmente, se puede disminuir hasta 50% el gasto de agua y 30% el de energía, y aunque no tenga un valor monetario sino un impacto ambiental, se puede disminuir 35% la huella de carbono.

Si bien la construcción de un edificio sostenible puede salir entre 10% y 15% más costosa que una obra tradicional, a mediano y largo plazo, cuando se asuman los valores monetarios por las facturas de servicios públicos, se va a evidenciar el retorno de esa inversión. Asimismo, se valora el hecho de que desde la construcción de los edificios se tenga en cuenta este tipo de prácticas. Juliana Fernández, acreditada LEED AP y experta en construcciones sostenibles, aseguró que *“está comprobado que una de las actividades que más genera contaminación a nivel mundial es el desarrollo de un proyecto de construcción, no solamente por el uso de los materiales y la contaminación que produce todo el proceso, sino también por las consecuencias que pueden tener las expansiones sobre terrenos agrícolas o zonas verdes naturales”*. [40]

Dentro de los proyectos certificados por LEED en Colombia se encuentran:

Módulos A y B del ecosistema de negocios Connecta. El cual recibió recientemente la certificación LEED en la categoría Core & Shell nivel Gold, luego de cumplir con parámetros de construcción sostenible, eficiencia energética y procesos responsables con el medio ambiente. El proyecto cuenta con una cubierta verde, que sirve para aislar térmicamente el interior del edificio; retiene aguas lluvias, que luego de ser tratadas son utilizadas en los sanitarios. Esto le permitió un ahorro anual en sus zonas comunales de 46% de agua y 12% de energía eléctrica.

Sede del banco GNB Sudameris en Bogotá. Entre las cifras de desempeño del edificio GNB Sudameris, que cuenta con certificación LEED nivel oro, están los ahorros de 32,1% y 59% en consumo de energía y agua potable, respectivamente. Además, 98% de los espacios regularmente ocupados cuentan con luz natural y acceso a vistas al exterior, 99% de los residuos generados en

la construcción fueron incorporados en procesos de reciclaje y nivelación topográfica.

Para el uso eficiente del agua potable fueron implementados aparatos sanitarios de alta eficiencia y un sistema de recolección y tratamiento de aguas lluvias. En cuanto a la iluminación artificial de la edificación, esta cuenta con un sistema automático que se articula con los niveles de iluminación natural y demanda según los usuarios, a través del uso de sensores de ocupación y la programación por horarios.

Homecenter en Cajicá. El edificio fue certificado por su diseño innovador en el que la protección del ambiente es lo principal. La energía de la tienda es generada en su totalidad por paneles solares y no hay equipos de ventilación mecánica. Además, cuenta con sistemas de riego con aguas lluvia y con un esquema de iluminación inteligente que se autorregula según la presencia de luz natural. A lo anterior se suma que durante el desarrollo de la obra se usaron procedimientos, como el uso de materiales de construcción provenientes de la región, que aseguraron que el impacto ambiental fuera mínimo.

Complejo Ruta N. El centro de innovación y negocios de Medellín, obtuvo la certificación LEED Gold gracias a estrategias enfocadas en el bajo consumo de agua, el ahorro de energía eléctrica y la optimización de los recursos. El proyecto, gracias a su localización, garantiza una fuerte conectividad urbana con múltiples servicios básicos y sistemas de transporte público. Se redujeron los impactos negativos de las actividades de construcción a través de la implementación de un plan de erosión y sedimentación, que permitió mitigar los efectos producidos por el aire y el agua sobre las superficies del terreno. El proyecto suministró 35% más espacio abierto que el exigido por el índice de ocupación, el 37% de este espacio abierto es vegetado, más del 20% del costo de los materiales del proyecto corresponde a productos fabricados a partir de materia prima reciclada, las especies vegetales sembradas en los exteriores y en la cubierta verde son irrigadas durante la mayor parte del año únicamente con agua lluvia, los orinales y sanitarios instalados en el proyecto soportan el 100% de su funcionamiento en el agua lluvia captada por el edificio.

Centro empresarial y deportivo de Colsubsidio – El Cubo

El centro empresarial y recreativo El Cubo de la caja de compensación Colsubsidio obtuvo la certificación LEED Oro al promover procesos inteligentes, saludables y rentables con el medio ambiente. Este proyecto fue concebido para ofrecer a los capitalinos un espacio exclusivo para la realización de servicios empresariales y de recreación urbana. La estructura que cuenta con 32.000 m² de área construida, repartidas en seis pisos y dos sótanos y fue asesorado por la Sociedad Colombiana de Arquitectos. Dentro de su programa arquitectónico se encuentran espacios como salón de convenciones con capacidad para 1.000 personas, seis salas para reuniones directivas, un salón para teleconferencia con capacidad para 20 personas y un centro de negocios que pueden utilizar simultáneamente 20 usuarios. También cuenta con sala infantil con capacidad para 30 para niños, una sala para jóvenes con simuladores, una sala de lectura para adultos equipada con televisión e internet, bolera con 12 pistas distribuidas en dos niveles, gimnasio con capacidad para 200 personas, spa, zonas húmedas, y una piscina semiolímpica con todas las especificaciones para competencias internacionales, un polideportivo con canchas de baloncesto, voleibol y ping – pong, al igual cuenta con cuatro canchas de squash con luz natural y tres simuladores virtuales de golf profesional, una cancha de fútbol 5 con grama sintética, la cual cumple todas las especificaciones internacionales de una cancha profesional. El edificio cuenta además con seis cafés express distribuidos por diferentes pisos, sistema abierto WIFI, consultorio de medicina deportiva y variedad de terrazas.

Dentro de los procesos constructivos el edificio implementó un sistema para la reutilización del agua lluvia, aguas grises y retro lavado de los filtros de las piscinas; usa el sistema ultravioleta para el tratamiento del agua de la piscina; tiene una fachada ventilada que permiten ahorros de energía. Además, la construcción, ubicada en la Carrera 30 con Calle 52 A, tiene iluminación y ventilación naturales y sistemas de aire acondicionado en zonas requeridas, con diseños que utilizan las condiciones atmosféricas de la ciudad para reducir gastos energéticos.

El Cubo logra disminuir costos en energía y ayudar al medio ambiente manejando la circulación

de aire y controlando la luz. La circulación de aire del edificio ayuda a regular la temperatura del mismo, y con esto reduce costos de ventilación, calefacción y aire acondicionado.

Por otra parte, las corrientes de aire natural se aprovechan de dos maneras; primero, con el flujo de estas por medio de rejillas metálicas localizadas en la fachada del edificio, que hacen que esta circulación atraviese el edificio, regulando la temperatura, la segunda manera es por medio de fachadas dobles que enfrían el edificio transportando el aire caliente hacia arriba. Al tener la mayoría de su estructura cubierta por vidrio transparente, la luz natural puede ser usada durante el día, y cuando se oscurece, los sensores de luz natural del edificio regulan la luz artificial de manera gradual para que no sea malgastada.

El Cubo también cuenta con un sistema de manejo de agua, la cubierta del edificio tiene recolectores de agua de lluvia, la cual se mezcla con el agua proveniente de duchas, lavamanos, y la piscina, para ser llevados a un tanque que, mediante un proceso de filtración, esta puede ser reutilizada como agua gris, para regar las plantas y usar en los baños. El tratamiento genera un 40% en el ahorro de agua.

A pesar de lo anterior comentado, El Cubo utiliza un sistema de energía convencional, que genera controversia con todos los componentes sostenibles que posee, lo cual es el motivo principal para desarrollar el presente trabajo de investigación para realizar una propuesta de eficiencia energética enfocada en sistemas solar térmico y solar fotovoltaico.

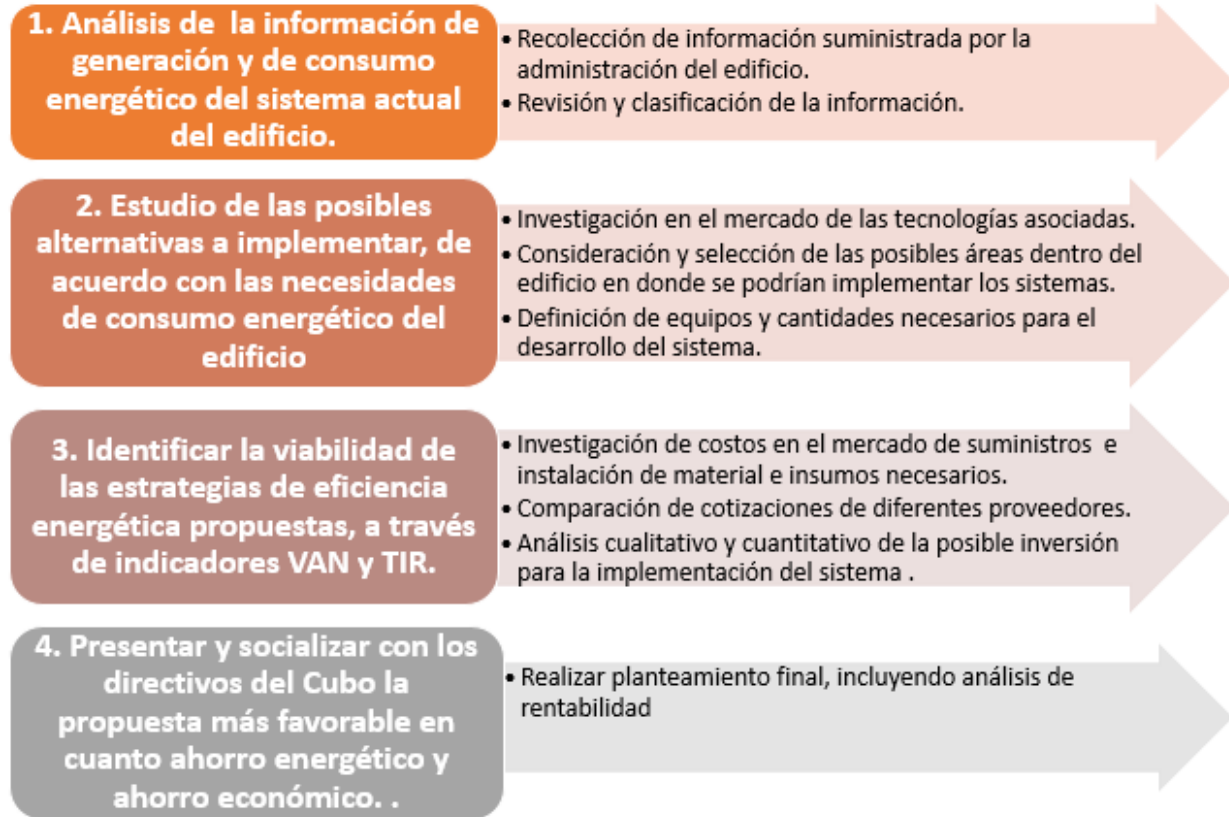
3. Metodología

3.1 Fases del trabajo de grado

A continuación en la

Grafica 10 se presenta el mapa de procesos bajo el cual se desarrollarán las fases del trabajo de investigación.

Grafica 10 Fases del trabajo de grado



Fuente: Los autores (2019)

3.2 Instrumentos o herramientas utilizadas

Para el desarrollo y estudio del trabajo de investigación, se realizará recolección de información que provenga de fuentes primarias (personas) y secundarias (hechos), consultas con profesionales especializados en diseño, implementación y construcción de sistemas solar térmico y solar fotovoltaico. Así como también se utilizarán las cotizaciones e información que puedan suministrar los proveedores de materiales e insumos; además de aprovechar el acceso a los datos y a las instalaciones del edificio objeto de estudio, para a través de técnicas como la observación y el análisis, lograr el resultado más acertado del proyecto.

Lo anterior se ejecutará en simultaneidad con la investigación en libros, artículos, normatividad,

estadísticas por medio del trabajo de oficina, el cual deberá brindar el espacio necesario para aterrizar las ideas que se presenten resultado del análisis de la información recolectada con anterioridad.

3.3 Población y muestra

Dado que el presente trabajo de grado, se basa en una propuesta sin llegar a la fase de implementación, si se llegase a ejecutar e implementar el resultado final de la investigación, la población sobre la cual se generaría un impacto sería el personal operativo (trabajadores) correspondiente a 191 personas, y la población flotante (usuarios) estimados en 60.000 y 90.000 personas mensuales.

3.4 Alcances y limitaciones

3.4.1. Alcances:

- El presente estudio explorará los sistemas de eficiencia energética solar fotovoltaico, tecnología LED y autoconsumo.
- La investigación presentará una propuesta apoyada en el análisis financiero.

3.4.2. Limitaciones:

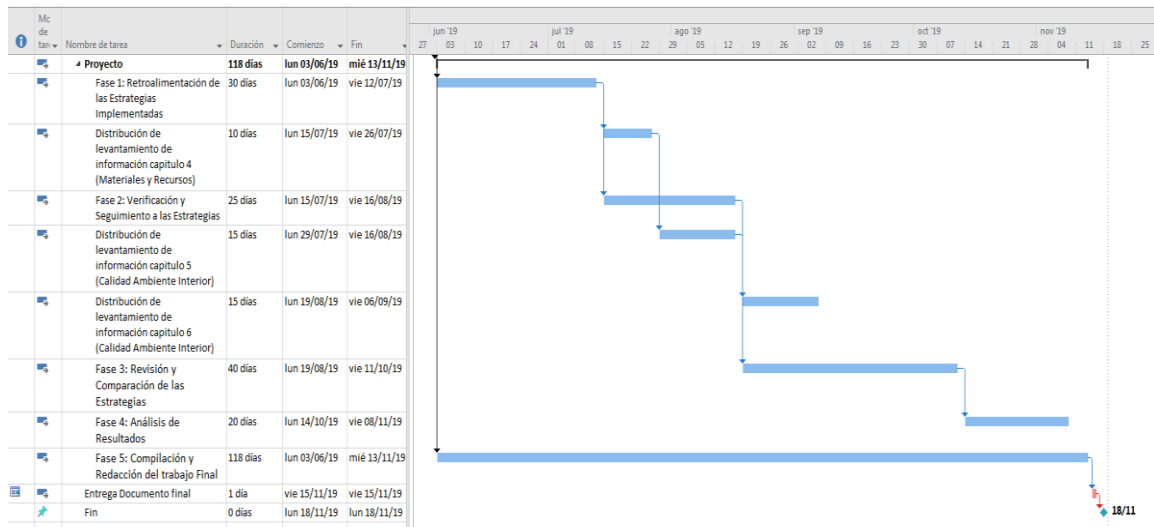
- Tiempo para realizar todas las actividades asociadas al desarrollo del proyecto.
- Bancos de datos incompletos y no actualizados, suministrados por la administración del centro empresarial.

3.5 Cronograma

El presente trabajo de grado se desarrolla con la descripción del siguiente cronograma

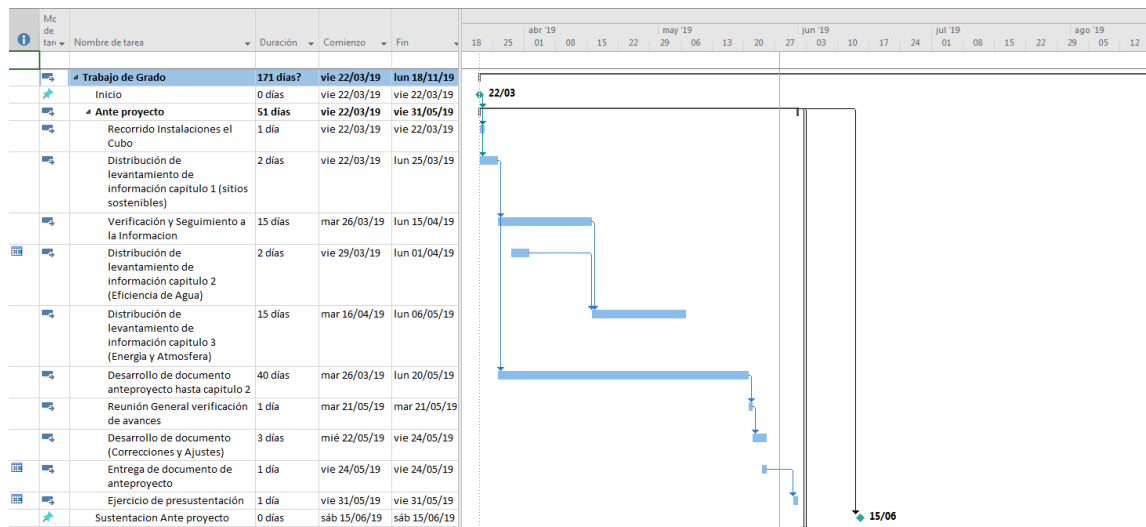
Grafica 11 y Grafica 12.

Grafica 11 Cronograma 1



Fuente: Los autores (2019)

Grafica 12 Cronograma 2



Fuente: Los autores (2019)

3.6 Presupuesto

A continuación, en la se relaciona el presupuesto del trabajo de grado en la Tabla 4

Tabla 4 Presupuesto

PRESUPUESTO					
PERSONAL					
DESCRIPCIÓN	Unidad	Valor	Cantidad/ unidad	Dedicación	Valor
Ingeniero investigador	mes	\$ 6,000,000	8.00	0.30	\$ 14,400,000
Ingeniero consultor	mes	\$ 8,000,000.00	8.00	0.10	\$ 6,400,000
Salidas locales	salida	\$ 40,000.00	8.00	1.00	320,000.00
Subtotal					\$ 21,120,000
EQUIPOS Y SISTEMAS					
DESCRIPCIÓN	Unidad	Valor	Cantidad/ unidad	Dedicación	Valor
Computador portátil	mes	\$ 1,200,000	1.00	1.00	\$ 1,200,000.00
Impresora, papelería en gen	mes	\$ 20,000.00	4.00	1.00	\$ 80,000.00
Servicios técnicos	mes	\$ 30,000.00	4.00	1.00	\$ 120,000.00
Software	mes	\$ -	-	-	
Uso de Internet	mes	\$ 50,000	5.00	1.00	\$ 250,000.00
Subtotal					\$ 1,650,000.00
MATERIALES Y ADMINISTRACIÓN					
DESCRIPCIÓN	Unidad	Valor	Cantidad/ unidad	Dedicación	Valor
Materiales	Global	\$ 60,000.00	1.00	1.00	60,000.00
Material bibliográfico	Global	\$ 20,000.00	1.00	1.00	20,000.00
Publicaciones y patentes	Global	\$ 30,000.00	1.00	1.00	30,000.00
Administración	mes	\$ 50,000.00	8.00	1.00	400,000.00
Subtotal					\$ 510,000.00
TOTAL					\$ 23,280,000.00

Fuente: Los autores (2019)

4 Productos a entregar

Dentro de la realización del trabajo de grado se desarrollan dos etapas, anteproyecto y proyecto final, y cada una contemplan unos entregables, a continuación se relacionan los productos a entregar por etapa.

Anteproyecto:

- Entrega de avances parciales del proyecto de investigación
- Monografía completa del anteproyecto
- Presentación y sustentación del anteproyecto.

Proyecto final:

- Diseño de propuesta de un sistema de eficiencia energética para el edificio el Cubo
- Análisis económico de la propuesta de eficiencia energética para el edificio el Cubo
- Entrega de monografía final
- Socialización con la dirección administrativa del edificio el Cubo
- Sustentación ante los jurados del desarrollo del proyecto de grado
- Publicación del trabajo de grado

5 Desarrollo del proyecto

5.1 Estrategias de gestión, uso y mantenimiento

Como bien es sabido, Colombia a través de la ley 1715 de 2014 y decreto 2469 de 2014, se ha comprometido en avanzar hacia el desarrollo sostenible y así minimizar el impacto del cambio climático, controlando e incentivando la no destrucción de los recursos naturales y el uso racional de los mismos, es por esto que se fomenta la implementación de métodos y estrategias que ayuden a la sostenibilidad y el ahorro del consumo de energías no renovables en las edificaciones nuevas y existentes.

El sector energético Colombiano está conformado por distintas entidades y empresas que cumplen diversas funciones en los mercados de generación, transmisión, comercialización y distribución de energía. En la ciudad de Bogotá la empresa prestadora del servicio público de energía eléctrica es EMGESA empresa contratada por el edificio el Cubo para el suministro de la misma.

De manera que, en este capítulo se reúnen las estrategias de gestión, en cuanto a uso y mantenimiento de la edificación, que puedan contribuir con el ahorro energético del edificio y que además se pudiesen implementar en paralelo con la propuesta planteada.

La Eficiencia Energética según la literatura, es la relación entre las energías consumidas y el volumen o cantidad producida o movilizadas; esta implica poder realizar el mismo trabajo, con igual o menos energía. [45]

Para poder lograr esto, se debe:

a) **Reducir las pérdidas de energía.**

En el caso del edificio el Cubo se programaron y realizaron recorridos a diferentes horas del día para identificar las áreas que no estaban en uso se encontraban con luminarias encendidas y lograr caracterizar los lugares donde se presentaba mayor desperdicio de energía: se encontraron varias áreas que presentaban pérdidas de energía. A continuación, en la Tabla 5, se presenta un resumen de los espacios seleccionados como representativos de la edificación, los lúmenes obtenidos de las mediciones realizadas durante una semana del mes de septiembre de 2019 y un promedio de la ocupación de cada uno de los espacios estudiados de cantidad de visitantes y personas que ocupan las diferentes áreas de servicio y su media en cuanto a ocupación y uso en diferentes horas del día. Se considera pérdida de energía de un espacio cuando las luminarias están encendidas sin que haya ninguna persona.

Tabla 5 – Relación ocupación de espacios vs lúmenes

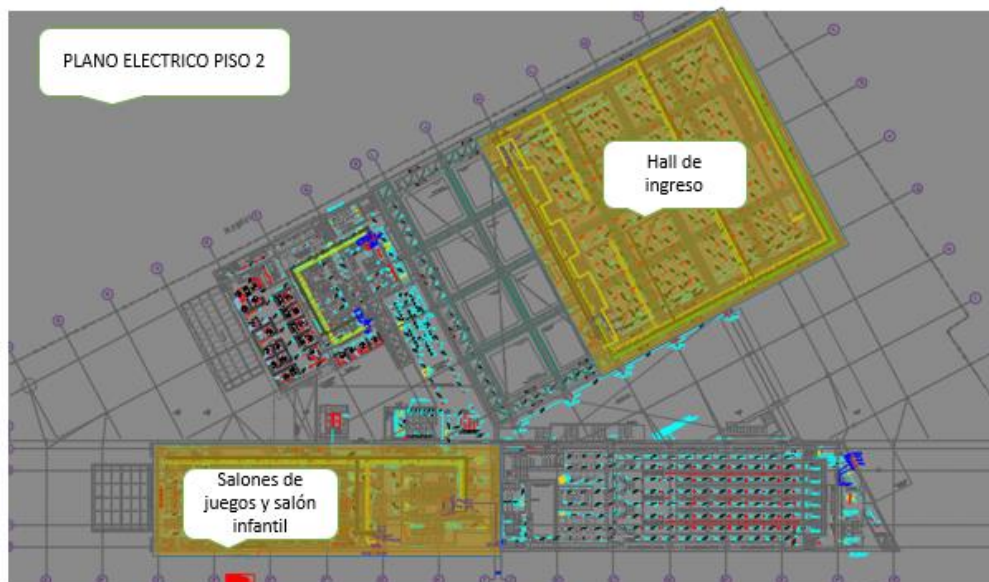
ZONA	HORA	EN USO		CANT. PERSONAS	LUMENES
		SI	NO		
<u>JARDIN INFANTIL</u>	06:00 a. m.		X	NINGUNA	514
	08:00 a. m.		X	NINGUNA	675
	10:00 a. m.		X	NINGUNA	267
	12:00 p. m.		X	NINGUNA	740
	04:00 p. m.	X		16 PERSONAS	616
	06:00 p. m.	X		23 PERSONAS	305
	08:00 p. m.		X	NINGUNA	284
<u>PSICINA</u>	06:00 a. m.	X		7 PERSONAS	866
	08:00 a. m.	X		30 PERSONAS	336
	10:00 a. m.	X		35 PERSONAS	1184
	12:00 p. m.	X		23 PERSONAS	1021
	04:00 p. m.	X		41 PERSONAS	614
	06:00 p. m.	X		27 PERSONAS	320
	08:00 p. m.	X		17 PERSONAS	285
<u>GIMNASIO</u>	06:00 a. m.	X		72 PERSONAS	235
	08:00 a. m.	X		84 PERSONAS	770
	10:00 a. m.	X		87 PERSONAS	656
	12:00 p. m.	X		46 PERSONAS	873
	04:00 p. m.	X		93 PERSONAS	1425
	06:00 p. m.	X		126 PERSONAS	217
	08:00 p. m.	X		103 PERSONAS	375
<u>OFICINAS</u>	06:00 a. m.		X	NINGUNA	460
	08:00 a. m.	X		7 PERSONAS	1163
	10:00 a. m.	X		16 PERSONAS	1407
	12:00 p. m.	X		16 PERSONAS	1072
	04:00 p. m.	X		16 PERSONAS	1008
	06:00 p. m.	X		8 PERSONAS	558
	08:00 p. m.		X	NINGUNA	470
<u>BOLERA</u>	06:00 a. m.		X	NINGUNA	157
	08:00 a. m.		X	NINGUNA	515
	10:00 a. m.		X	NINGUNA	605
	12:00 p. m.		X	NINGUNA	923
	04:00 p. m.	X		52 PERSONAS	498
	06:00 p. m.	X		63 PERSONAS	313
	08:00 p. m.	X		65 PERSONAS	318

Fuente: Fuente: Los autores (2019)

Como se puede evidenciar en la tabla presentada, los lugares del edificio que presentan mayores pérdidas de energía, en cuanto a ocupación son la bolera, el jardín infantil y las oficinas, sin embargo, de estos lugares los que conservan las luminarias encendidas durante todo el día, sin tener en cuenta la cantidad de personas que se ocupan los espacios son las oficinas y el jardín infantil.

Al revisar la planimetría eléctrica récord del edificio el Cubo, se evidencia que el sistema eléctrico está programado de forma sectorizada, lo que quiere decir que esta enlazada con otras zonas de mayor frecuencia. Como, por ejemplo, la sala infantil y salones de juego de piso 2 se encuentran programados con el hall de ingreso al edificio, como se muestra en la Grafica 13 lo cual genera un consumo de energía innecesario, ya que el salón infantil da apertura desde las 2:00 pm y sus luminarias permanecen encendidas todo el día. Realizando un análisis de acuerdo a este diseño, claramente para las sectorizaciones de encendido de luces se debió haber estudiado de acuerdo a los horarios establecidos para el funcionamiento de cada espacio. Por lo que, se evidencia una ineficiencia del sistema eléctrico, el cual no genera ahorro de energía.

Grafica 13 Plano eléctrico piso 2



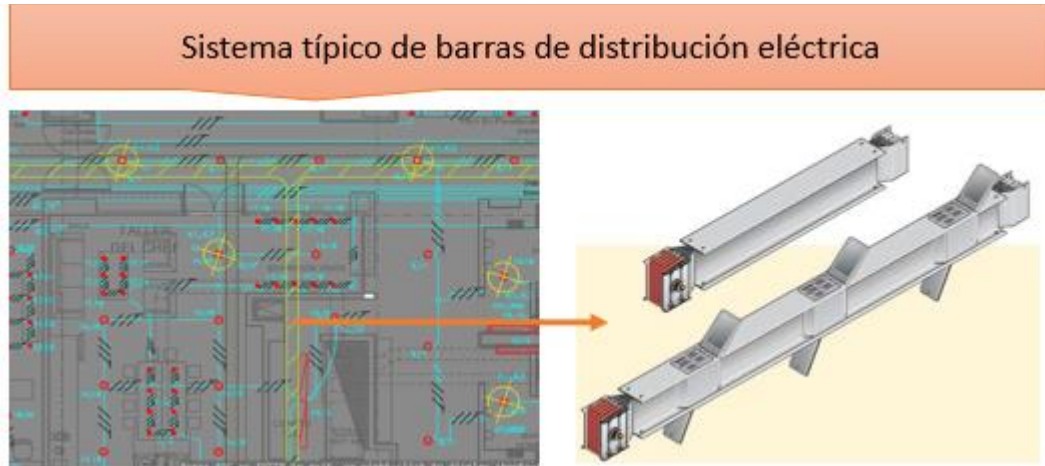
Fuente: Los autores (2019)

La energía se pierde primordialmente en dos etapas de la cadena del sistema eléctrico: durante el transporte de la electricidad generada y a través del consumo final no medido. En el primer caso, la diferencia entre la electricidad ingresada al sistema y aquella entregada al consumidor final se relaciona directamente con las ineficiencias técnicas del sistema de transmisión, pero este no es un problema que se pueda atribuir al edificio ya que su conductividad interna se realiza a través de un

54

sistema de “barras” que permite conservar la energía desde su captación hasta el punto de distribución al 100 %. Como se muestra en la Grafica 14

Grafica 14 Sistema típico de barras



Fuente: Los autores (2019)

El segundo caso, que sabemos explica el 80% de las pérdidas, tiene que ver con uso excesivo o sobredimensionado de la electricidad. Para este punto es importante acotar que el cubo utiliza la luz natural como fuente de iluminación principal en todos los escenarios, además que los espacios principales cuentan con un sistema de dimerización el cual gradúa el nivel de luz de acuerdo con la fuente de iluminación natural, estos espacios son: las oficinas, los auditorios, la cancha de futbol 5 y las salas de spinning. Con la dimerización de la iluminación artificial se podrá evitar los cambios bruscos de iluminación inherente a un interruptor de encendido/apagado, además aporta a la reducción del consumo energético, entendiéndose que se reduce el consumo de la cantidad de energía requerida durante el tiempo de encendido en los niveles bajos de luminancia, por otro lado la implementación de esta tecnología deberá tener presente cuales lámparas pueden ser utilizadas y cual no se adaptan al sistema, evitando así afectar la vida útil de la lámpara. Sin embargo, también podría adoptarse un sistema de automatización por medio de sensores que identifiquen si un área está en uso o no. También el edificio cuenta con un sistema de recirculación de aire por lo cual no requiere equipos de ventilación ni motores eléctricos, disminuyendo así el consumo de energía.

a) Aumentar el rendimiento energético:

Lo que quiere decir: el trabajo que se obtiene, para la misma energía consumida. Debido al progresivo aumento del costo, tanto de los combustibles, como de la energía eléctrica, de la dependencia de los combustibles fósiles, y de la demanda creciente de energía, poco a poco, las empresas están empezando a tomar conciencia de la relevancia de la eficiencia energética.

En el caso de estudio, esta estrategia es la que menos se ha acogido, teniendo en cuenta que existen muy pocas luminarias LED en el edificio como consta en el inventario realizado para este estudio, en el cual se incluyen los consumos por pisos y áreas (ver anexo 1). Los cambios de todas las luminarias a LED disminuirían significativamente los consumos, además tampoco se han adoptado fuentes de energía renovable que permitan generar mayores ahorros en el consumo.

b) El diseño

Para el caso de compra de equipos o instalaciones nuevas, la eficiencia energética debería ser un factor relevante, el costo del consumo energético, como costo operativo, debe tenerse en cuenta a lo largo de todo el ciclo de vida del activo, para justificar la decisión de compra o inversión.

Para el caso de instalaciones existentes, fue importante, al comenzar el proyecto de mejora de la eficiencia energética, realizar una evaluación del sistema eléctrico instalado, para detectar eventuales problemas de diseño, que puedan limitar la mejora de la eficiencia energética ya que el potencial ahorro energético, puede llegar a justificar la inversión necesaria para el rediseño y reformas en las instalaciones.

En el caso del edificio el Cubo no se contempla reemplazar la totalidad del sistema de iluminación eléctrica, por el contrario, se propone la instalación de un sistema complementario al convencional, que se pueda adaptar fácilmente a la morfología del edificio y a sus sistemas constructivos. Se identifica gran potencial de mejora, en la recuperación de energía o el diseño de sistemas

regenerativos y estrategias de uso y mantenimiento.

c) En la operación

La falta de procedimientos operativos, y las malas prácticas operativas, atentan tanto, la confiabilidad operacional, como a la eficiencia energética.

En los casos de operación manual, el rol de operador de los equipos es fundamental. El operador debe capacitarse y entrenarse, para concientizarse de su incidencia en el cuidado del equipo y en la eficiencia energética. En el caso del edificio el Cubo esto refiere más al reemplazo de luminarias o en barras conductoras de energía; sin embargo, en el edificio existe mayor oportunidad de mejora de la eficiencia energética, integrando mayor automatización en los sistemas, que permita modular la capacidad y minimizar el tiempo en funcionamiento.

d) En el mantenimiento

Un equipo está en estado de falla, cuando no está cumpliendo con alguna de las funciones requeridas. Si dentro de las funciones deseadas, se incluye el consumo energético, el desempeño del equipo, la ineficiencia energética se podrá tratar, como daño parcial.

El plan de mantenimiento, debe diseñarse teniendo en cuenta, el impacto de un daño en:

- Operación.
- Calidad.
- Seguridad de las personas e instalaciones.
- Medioambiente.

La cuantificación del incremento del consumo energético de cada daño, será lo que justifique cada una de las acciones, las cuales se deben incluir en un plan de mantenimiento, para evitar la ineficiencia energética.

Muchas tareas básicas de complejidad menor y bajo costo de implementación, pueden tener gran incidencia en la eficiencia energética, generando grandes reducciones en el consumo de energía, tales como:

- Rutinas de limpieza, del sistema de generación, o redes.
- Rutinas de inspección visual de posibles degradaciones.
- Comprobación de estado de los soportes
- Rutinas de inspección y reparación de aislaciones.
- Revisión y lectura de datos récord.

Dentro del plan de mantenimiento, se deben prever tareas de monitoreo de distintas condiciones y/o parámetros operativos de los equipos e instalaciones, para poder detectar cuando existe un desvío. La efectividad y calidad de la acción correctiva, es fundamental para no incluir elementos que ocasionen daños adicionales y además se deba incurrir en costos no contemplados.

Para determinar la necesidad de implementar un nuevo sistema de iluminación ahorradora de energía eléctrica y que además sea sostenible en el edificio el Cubo; se partió del análisis del sistema de iluminación instalado, su funcionamiento y mantenimiento, además de evaluar la estimación obtenida del consumo energético de las luminarias del edificio según su capacidad en watts vs horas aproximadas de uso.

Teniendo como referencia el inventario y especificaciones técnicas de las luminarias convencionales instaladas por cada área de servicio, se logró determinar la cantidad aproximada del consumo energético que estas generan, por lo que se puede calcular un estimado del ahorro de energía y dinero de acuerdo con el precio de la energía del mercado.

5.2. Análisis de la factura eléctrica y del consumo

De acuerdo con la factura enviada por el Cubo, el consumo promedio del edificio está en 140 MWh al mes aproximadamente.

A continuación, se muestra el desglose de cobros de la factura, de la cual solo se considera lo resaltado en naranja, correspondiente a Generación y Comercialización, Cargos Regulados Activa y Contribución (Tributo), para lo cual arroja una tarifa equivalente de 542,42 pesos por cada kWh. El consumo mostrado en la Grafica 15 corresponde a la totalidad del consumo por los diferentes servicios de luminarias, toma corrientes, electrodomésticos y equipos.

Grafica 15- Desglose factura de energía

	Consumo	Valor
<u>Cargos del mes</u>		<u>63.618.451</u>
G+C Activa [kWh]	140.743,80	40.322.446
Cargos Regulados Activa		23.296.005
<u>Tributos</u>		<u>12.723.690</u>
Contribución		12.723.690
<u>Ajustes mes anterior</u>		<u>-89.590</u>
Ajuste STN Mes Anterior		15.674
Ajuste Restricciones Mes Anterior		-90.332
Ajuste Contribuciones Mes Anterior		-14.932
<u>Servicios</u>		<u>48.866</u>
IVA Alquiler SIM CARD		7.802
Alquiler SIM CARD		41.064
<u>Ajustes</u>		<u>3</u>
Ajuste a La decena		3

Fuente: Recibo de energía Emgesa (2019)

Por el enfoque de la investigación se muestra en la Tabla 6 el análisis de consumo energético de luminarias convencionales instaladas en el Cubo, realizado bajo los datos suministrados por el área administrativa, establecido a través de los vatios de consumo y referencia de horas diarias de encendido.

Tabla 6 Consumo de KW actual

EDIFICACION	Energía Consumida - Unidad / Día	Energía Consumida Area
PISO 6	13266	333794
PISO 5	16028	143570
PISO 4	44183	786947
PISO 3	36856	396015
PISO 2	34357	602701
PISO 1	60554	1298205
TOTAL CONSUMO ENERGETICO KWH	205244	3561232
	KWH	KWH
	vatio	1000

Consumo total energético Luminarias KWh/día	3561,232
Consumo total energético Luminarias KWh/Mes	106836,96
Consumo total energético Luminarias KWh/Año	1299849,68

Fuente: Los autores (2019)

Durante el desarrollo de la investigación, en los recorridos y visitas realizados, para recolección de información al Cubo, se identifica una oportunidad de mejora, observando varias áreas útiles donde se podrían ubicar paneles solares. Esto después de analizar otra alternativa como solar térmica, la cual tiene su mayor ahorro con el precalentamiento de agua, sin embargo, esta opción perdió fuerza al corroborar que el edificio realiza este proceso a través de calderas que trabajan a gas, y teniendo en cuenta que este servicio es mucho más económico, no es viable esta implementación, además de que su integración arquitectónica presenta mayor dificultad. Adicionalmente y de acuerdo al inventario de luminarias y lecturas de consumo, también se distingue una mejora en la eficiencia energética, con la conversión de las luminarias halógenas a luminarias LED tanto del interior como del exterior del edificio.

A continuación, se describen y presentan 3 alternativas aplicables al Cubo, para disminuir y

optimizar el consumo de energía, cada una con el análisis de rentabilidad con el fin de determinar la más viable técnica y económicamente.

5.3 Alternativa solar fotovoltaica

Un sistema fotovoltaico es un conjunto de dispositivos que aprovechan la energía producida por el sol y la convierten en energía eléctrica.

Los sistemas fotovoltaicos se basan en la capacidad de las celdas fotovoltaicas de transformar energía solar en energía eléctrica. En un sistema conectado a la red eléctrica esta energía, mediante el uso de un inversor, es transformada a corriente alterna, la cual puede ser utilizada en hogares e industrias. La generación de energía eléctrica dependerá de las horas que el sol se proyecte sobre el panel solar y del tipo y cantidad de módulos instalados, orientación, inclinación, radiación solar que les llegue, calidad de la instalación y la potencia nominal.

Como primera fase para el desarrollo de esta propuesta, se determinan unos requisitos de importante cumplimiento para determinar en qué sitio podrían ubicarse los paneles, los cuales se relacionan a continuación:

- Resistencia portante del área.
- Área totalmente libre de sombras.
- Facilidad en la integración arquitectónica.
- Área de fácil acceso para mantenimiento.
- Mayor área útil en m²

Para el análisis de alternativas, con base a los parámetros presentados, a los cuatro lugares previamente identificados, se les realizó una evaluación de cumplimiento de cada uno de ellos, la cual se presenta a continuación,

Alternativa 1 - Pérgola sobre la fachada principal

Un sistema fotovoltaico es un conjunto de dispositivos que aprovechan la energía producida por el sol y la convierten en energía eléctrica.

Los sistemas fotovoltaicos se basan en la capacidad de las celdas fotovoltaicas de transformar energía solar en energía eléctrica. En un sistema conectado a la red eléctrica esta energía, mediante el uso de un inversor, es transformada a corriente alterna, la cual puede ser utilizada en hogares e industrias. La generación de energía eléctrica dependerá de las horas que el sol se proyecte sobre el panel solar y del tipo y cantidad de módulos instalados, orientación, inclinación, radiación solar que les llegue, calidad de la instalación y la potencia nominal.

Como primera fase para el desarrollo de esta propuesta, se determinan unos requisitos de importante cumplimiento para determinar en qué sitio podrían ubicarse los paneles, los cuales se relacionan a continuación:

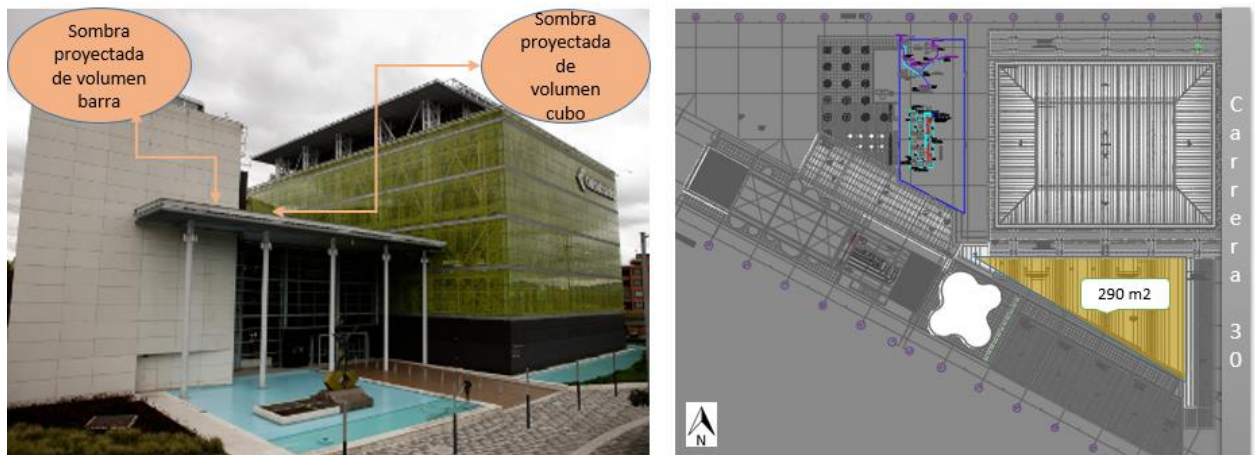
- Resistencia portante del área.
- Área totalmente libre de sombras.
- Facilidad en la integración arquitectónica.
- Área de fácil acceso para mantenimiento.
- Mayor área útil en m²

Para el análisis de alternativas, con base a los parámetros presentados, a los cuatro lugares previamente identificados, se les realizó una evaluación de cumplimiento, la cual se presenta a continuación:

Alternativa 1 - Pérgola sobre la fachada principal

Esta pérgola se encuentra sobre la fachada principal del edificio sobre la carrera 30, es decir en la fachada oriental del edificio. Cuenta con un área útil aproximadamente 290 m², está soportada con 5 columnas cilíndricas tipo pórtico, que brindan estabilidad a la estructura metálica en la que está construida este elemento, hablando en términos de capacidad portante, para la inclusión de los paneles solares no sería necesario reforzar la estructura. Dada la ubicación de la pérgola, recibe el sol de la mañana aproximadamente hasta medio día en su totalidad, sin embargo, al transcurrir las horas de la tarde, se empiezan a proyectar sobre ella una serie de sombras, provenientes de los dos volúmenes principales que componen al edificio. Por la ubicación de la pérgola la inclusión de paneles no tendría un impacto visual significativo sobre el edificio. Lo anteriormente mencionado se puede observar en la Grafica 16Grafica 13

Grafica 16 - Alternativa 1



Fuente: Los autores (2019)

Alternativa 2 - Terraza piso 1

La segunda identificación de oportunidad de evidencia en piso 1 hacia la esquina nororiental del edificio, la cual ofrece un área útil disponible de aproximadamente 331 m². Esta zona no cuenta con ningún elemento sobre el se puedan ubicar los péneles; para su implementación sería necesario

construir un elemento que permitiera su integración o en un caso de mayor impacto, implementar una cubierta. Dada su ubicación con respecto al asoleamiento, sobre ella se podría proyectar sombra proveniente del mismo edificio. Como se muestra en la Grafica 17

Grafica 17 - Alternativa 2

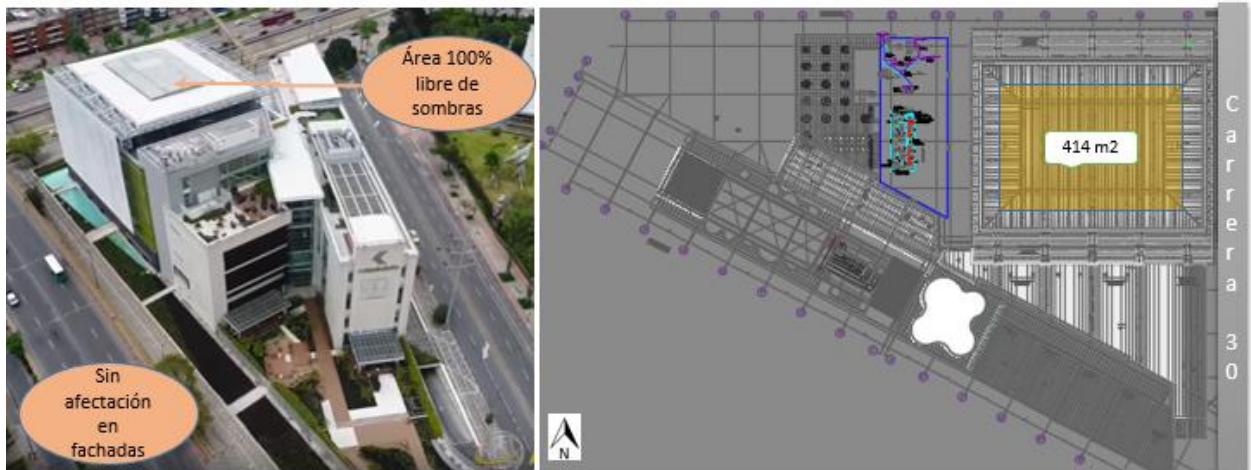


Fuente: Los autores (2019)

Alternativa 3 – Cubierta cancha de futbol

En esta alternativa se evalúa la cubierta ubicada en piso 6 sobre la cancha de futbol, la cual brinda un área útil en m2 aproximadamente de 414, Es el punto más alto del edificio, por lo que no se proyecta ninguna sombra sobre su superficie y su implementación no generaría traumatismos visuales; además sus elementos constructivos brindan capacidad portante suficiente para ubicar sobre ella paneles fotovoltaicos. Sin embargo, la mayor dificultad que presenta esta alternativa parte de que la que la cubierta está construida en material translucido, lo que permite el aprovechamiento de la luz natural la mayor parte de las horas en uso. La ubicación de los paneles implicaría pérdida del propósito para el que fue construido este elemento, además del uso prolongado de la iluminación de esta locativa. Su ubicación y descripción se pueden observar en Grafica 18

Grafica 18 - Alternativa 3

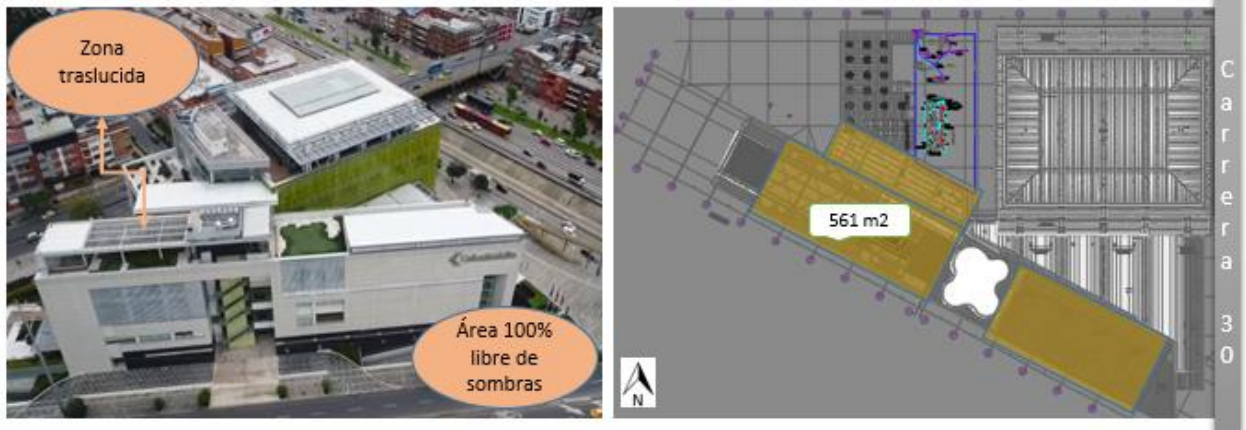


Fuente: Los autores (2019)

Alternativa 4 - Cubierta edificio barra

La cubierta del edificio barra se encuentra ubicada en piso 5 con un área útil de 561 m² dentro del que se incluye también la cubierta de las escaleras, sus superficies están construidas principalmente en cubierta tipo sándwich (estructura metálica y concreto), lo cual asegura el soporte necesario para ubicar los paneles fotovoltaicos, además de acuerdo al recorrido del sol, el área se encuentra libre de sombras, asegurando una mayor captación. Por la continuidad del elemento, su instalación se podría dar de forma continua y su integración con respecto a las fachadas del edificio no sería de mayor impacto. Parte de la cubierta también está construida en material traslucido sin embargo no es la totalidad de la misma, como se observa en la Grafica 19

Grafica 19 - Alternativa 4



Fuente: Los autores (2019)

Después de lo descrito anteriormente, se desarrolló la Tabla 7 resumen para determinar el lugar con mayor posibilidad de adaptarse para la propuesta.

Tabla 7 - Resumen de alternativas

Alternativa	Resistencia portante	Libre de sombras	Integración arquitectónica	M2 útil	Facilidad de mantenimiento
Pérgola sobre la fachada principal	Cumple	Cumple parcialmente	Cumple	290	Cumple
Terraza piso 1	No cumple, se debe construir estructura adicional	Cumple parcialmente	Se puede realizar pero afectaría uso y fachada	331	Cumple
Cubierta cancha de futbol	Cumple	Cumple	Cumple parcialmente, ya que se afectaría material translucido	414	Cumple parcialmente, mantenimiento especializado o capacitaciones
Cubierta edificio barra	Cumple	Cumple	Cumple parcialmente, ya que se afectaría material translucido	561	Cumple parcialmente, mantenimiento especializado o capacitaciones

Fuente: Los autores (2019)

De acuerdo a lo anterior, se determina que la zona para desarrollar la propuesta, es la cubierta del edificio barra, por contar con mayor área de m² disponible, lugar totalmente libre de sombras, capacidad portante sin inversión adicional, y fácil integración arquitectónica.

Después de este análisis, y de la escogencia de la zona, además de los datos de consumo, se inicia la búsqueda de dos empresas que realicen una cotización formal de suministro e instalación de sistema solar fotovoltaico para 561 m². Dichos proponentes deben tener sede legal en Colombia, deben contar con servicio de mantenimiento y deben ofrecer garantía de los servicios y materiales ofertados.

Bajo los parámetros anteriormente mencionados, se contactan a dos empresas, con quienes se realizan varios recorridos y reuniones en donde se les expone la necesidad del edificio, y a su vez los proveedores explican el funcionamiento del sistema y los materiales. Para la elaboración de las propuestas fue necesario suministrar a las empresas la siguiente información,

- Factura de energía eléctrica
- Ubicación del cuarto eléctrico principal sobre la vista superior
- Nivel de voltaje del armario eléctrico principal de distribución (ejemplo: trifásico 480V, bifásico 220V)
- Fotos o tipo de cubierta (ejemplo: sándwich metálica, etc.)

Luego de esto, los proponentes tardaron aproximadamente 15 días en la elaboración de sus propuestas, cotización 1 (ver anexo 2) y cotización 2 (ver anexo 3), las cuales fueron revisadas y analizadas, junto con la administración del edificio, en las que también se tomó en cuenta la experiencia acreditada de los proponentes.

Para el caso del objeto de estudio, en conjunto con la administración del cubo y en reunión con el equipo de trabajo, se determina que la propuesta más completa y que cumple con las expectativas de garantía, calidad y experiencia, es la cotización 1, presentada por la empresa **+pv energy**.

Quienes presentan su alternativa en un costo total de 122.400 USD, La cual consiste en una propuesta de instalación, que incluye la ingeniería, suministro de equipos e instalación de la planta fotovoltaica, y se compone de los siguientes conceptos:

- Ingeniería del proyecto y planos necesarios para las tramitaciones con los organismos
- Suministro de equipos: módulos fotovoltaicos, Inversores, estructura soporte de los módulos fotovoltaicos (solución de fijación magnética **FixMag®**). Incluyendo material de repuesto y el recomendado por el fabricante para las labores de Operación y Mantenimiento (O&M)
- Instalación eléctrica en baja tensión: cableado en DC de interconexión de módulos no mayor a 20 m por subsistema, armario de interconexión de inversores, cableado AC de salida de inversores hasta el armario no mayor a 5 m por subsistema
- Interconexión a armario principal (existente) de distribución eléctrica del edificio mediante conducción de cable desde salida de armario de inversores, distancia no mayor a 25 m.
- No incluye obras civiles adicionales o ampliación de infraestructuras (barras de acometida o nuevos armarios de interconexión)
- Equipos de monitorización remota de la planta y equipo de comunicaciones para la transmisión de datos

Esta propuesta económica **NO INCLUYE**:

- Obras civiles, ampliación de infraestructuras y adecuación para la conexión eléctrica
- Cualquier obra o servicio adicional a los alcances planteados en esta propuesta
- Pólizas, seguros y garantías en total no mayor al 1,5% del valor del proyecto

Estudio de rentabilidad.

Se realizó un estudio de rentabilidad de proyecto (sin financiación), en la cual se consideraron los siguientes valores principales:

- Precio de venta de electricidad: 542,42 COP/kWh (según factura 2019)
- Costo de la inversión: 122,400 USD
- Tasa de cambio COP por USD (últimos seis meses): 3200 COP/USD (Estimado)
- Porcentaje de autoconsumo instantáneo: 100% o 0% de excedentes (Estimado)
- Consideraciones de OPEX: operación y mantenimiento, seguro, incremento del precio de la energía e IPC anual.

Como resultado, arroja un retorno de la inversión menor a 6 años, o bien, una TIR de proyecto mayor al 16,55 % en 25 años de explotación. Esto quiere decir que, a partir del año 6 de funcionamiento de la planta, la energía eléctrica consumida por cada estación sería gratuita.

Por su parte la VAN nos arroja un ahorro de \$401.140.728 pesos por 25 años de vida útil. En la Tabla 8 se presenta el flujo de caja realizado para la oferta seleccionada. En el anexo 4 se detallan los consumos y los datos de entrada con los que se elaboró el análisis de rentabilidad.

Para los cálculos de la VAN aquí presentados se trabajó con una tasa de interés del 6.1% que sería la máxima ganancia que se podría obtener, depositando el dinero de la inversión en un CDT; este porcentaje fue tomado de la superfinanciera y se utilizó de referencia también para las demás alternativas.

Tabla 8- resumen rentabilidad financiera

FLUJO DE CAJA			
AÑO	EGERESOS	INGRESOS	FLUJO EFECTIVO NETO
0	\$ 391,680,000		(391,680,000.00)
1	\$ 8,812,016	\$ 76,311,958	67,499,941.84
2	\$ 9,400,032	\$ 76,693,518	67,293,485.63
3	\$ 9,988,048	\$ 77,076,985	67,088,937.22
4	\$ 10,576,064	\$ 77,462,370	66,886,306.14
5	\$ 11,164,080	\$ 77,849,682	66,685,601.99
6	\$ 11,628,736	\$ 77,143,658	65,514,922.40
7	\$ 12,093,392	\$ 77,529,377	65,435,984.69
8	\$ 12,558,048	\$ 77,917,024	65,358,975.57
9	\$ 13,022,704	\$ 78,306,609	65,283,904.69
10	\$ 13,487,360	\$ 78,698,142	65,210,781.73
11	\$ 13,952,016	\$ 79,091,632	65,139,616.44
12	\$ 14,416,672	\$ 79,487,091	65,070,418.60
13	\$ 14,881,328	\$ 79,884,526	65,003,198.06
14	\$ 15,345,984	\$ 80,283,949	64,937,964.69
15	\$ 15,810,640	\$ 80,685,368	64,874,728.43
16	\$ 16,275,296	\$ 81,088,795	64,813,499.27
17	\$ 16,739,952	\$ 81,494,239	64,754,287.25
18	\$ 17,204,608	\$ 81,901,710	64,697,102.44
19	\$ 17,669,264	\$ 82,311,219	64,641,955.00
20	\$ 18,133,920	\$ 82,722,775	64,588,855.09
21	\$ 18,598,576	\$ 83,136,389	64,537,812.97
22	\$ 19,063,232	\$ 83,552,071	64,488,838.91
23	\$ 19,527,888	\$ 83,969,831	64,441,943.27
24	\$ 19,992,544	\$ 84,389,680	64,397,136.42
25	\$ 20,457,200	\$ 84,811,629	64,354,428.83
		VAN	\$ 401,140,728.76
		TIR	16.55%

Fuente: Los autores (2019)

5.4 Alternativa iluminación LED

Con el propósito de disminuir el consumo energético del edificio y mejorar la eficiencia se plantea implementar técnicas sostenibles, por esto se realizó un estudio al sistema de iluminación convencional instalado, verificando el funcionamiento, sistema instalado, cantidad de lúmenes obtenido en cada área de servicio.

El edificio el Cubo en la actualidad cuenta con un sistema de iluminación eléctrica convencional, así como se puede evidenciar en los diseños del sistema eléctrico, por lo que es importante resaltar que los sistemas de iluminación ofrecidos en el mercado en la actualidad brindan mejores características de uso, funcionalidad, mantenimiento y consumo.

De este estudio se evidencia que, es necesario implementar un sistema de iluminación más eficiente, que permita garantizar mayores beneficios en relación a su operación, mantenimiento y consumo; además podrá ofrecer escenarios con un entorno visual óptimo y confortable que permita a los usuarios realizar todas sus actividades rutinarias y no rutinarias sin demandar un sobre - esfuerzo visual. Por lo que se hace técnicamente viable la implementación de un sistema de iluminación a través de sistemas que además proporcione rendimientos financieros por costos de operación.

Es por esto que el edificio el Cubo requiere de acciones que permitan mejorar el sistema de iluminación instalando sistemas sostenibles y de mejor rendimiento energético a través de la utilización de lámparas más eficaces.

Un sistema de iluminación está compuesto por los siguientes elementos:

- **Lámparas:** son las encargadas de transformar la energía eléctrica en luminosa.
- **Luminarios:** son los gabinetes que contienen a las lámparas y en algunos casos también el balastro, además sirven para controlar y dirigir el flujo luminoso de una o más lámparas.
- **Balastos:** son dispositivos electromagnéticos, eléctricos o heridos, los cuales limitan la corriente de las lámparas y cuando es necesario, la tensión y corriente de encendido.
- **Dispositivos de control:** son dispositivos tales como apagadores, fotoceldas, controladores

de tiempo, sensores de movimiento y otros. Para el control de los sistemas de iluminación.

Tipos de lámparas:

Una pieza importante del sistema de iluminación de un edificio son las lámparas, las cuales se clasifican en:

Lámparas incandescentes: Permite percibir los colores de una manera más óptima y emite un color de luz cálido en el ambiente. Se enciende instantáneamente y dispersa uniformemente la luz. Por otra parte, consume una gran cantidad de energía y genera mucho calor.

Lámparas fluorescentes: Emite una luz con tonalidad predominantemente blanca y fría, aunque se consiguen referencias de luz blanca cálida. Su reproducción de color no es muy buena. Tiene un sistema de encendido llamado balasto, el cual retarda un poco su activación. El consumo de energía de esta bombilla es muy bajo, pero tarda algunos minutos desde su encendido hasta alcanzar su máxima emisión de luz. Se recomiendan las que funcionan con balasto electrónico para lograr máximo ahorro energético y evitar el parpadeo que puede ser molesto.

Lámparas Halógenas: Emite una luz blanca y focalizada siendo la más similar a la luz del día. Por su color de luz es, entre todas las bombillas, la que permite percibir los colores con el mayor realismo. Con el mismo consumo de energía de una incandescente, la bombilla halógena puede tener una mayor emisión de luz, aunque también genera mucho calor. [45]

Lámparas de alta intensidad de descarga: Las lámparas de descarga generan la luz por excitación de un gas sometido a descargas eléctricas entre dos electrodos. Las lámparas difieren según el gas contenido en la lámpara y la presión a la que esté sometido.

Lámparas a base de LED: Un LED, siglas en inglés de Light-Emitting Diode (diodo emisor de luz) es un dispositivo semiconductor (diodo) que emite luz policromática, es decir, con diferentes longitudes de onda, cuando se polariza en directa y es atravesado por la corriente eléctrica. El color depende del material semiconductor empleado en la construcción del diodo, pudiendo variar desde

el ultravioleta, pasando por el espectro de luz visible, hasta el infrarrojo, recibiendo éstos últimos la denominación de IRED (Infra-Red Emitting Diode). [46].

Su principal objetivo es aumentar la eficiencia y reducir el consumo. Los LED son pequeños diodos que producen luz cuando una corriente eléctrica pasa a través del material semiconductor del que están hechos, a diferencia de una bombilla eléctrica convencional, estos no tienen una resistencia que pueda romperse o quemarse, lo cual los hace muy durables y confiables.

Cada tipo de lámpara tiene características especiales y su aplicación dependerá de la evaluación de sus parámetros principales como pueden ser su costo, vida útil, CRI, flujo luminoso, depreciación del flujo luminoso, etc.

Teniendo en cuenta las diferentes alternativas para el cambio del sistema de iluminación del edificio existen en el mercado y las características y beneficios que ofrecen, se toma como la mejor alternativa de propuesta la iluminación a través del sistema de lámparas LED, considerando las ventajas que se ofrecen:

- Energéticamente eficiente
- Larga vida
- Robustez
- Cromacidad
- Control digital
- Saturación de color y espectro
- Bajo voltaje operativo

- Desventajas:

- Puede representar un alto costo inicial en una nueva base instalada.

El alto rendimiento y la alta luminosidad hacen que la luminaria tipo LED sea una excelente combinación de seguridad, confiabilidad y eficiencia energética. Además, son de fácil instalación, bajo mantenimiento, pueden generar colores muy puros y crear la atmósfera de iluminación más adecuada. Este sistema de iluminación oferta un amplio portafolio y disponibilidad en el mercado.

En la Tabla 9 se observa el consumo en watts para diferentes tipos de luminarias:

Tabla 9 Consumo en Watts Tipos de luminarias

Valores en lúmenes (lm)	Consumo aproximado en Watts (w) según el tipo de lámpara			
	LED	Incandescentes	Halógenas	CFL y fluorescentes
50 / 110	1	10	— — —	— — —
110 / 250	2,5	15	10	5
250 / 440	4	25	20	7
440 / 650	7	40	35	9
650 / 800	9	60	50	11
800 / 1500	11	75	70	18
1500 / 2500	14	100	100	20
2500 / 2600	21	150	150	30
2600 / 3500	27	200	200	40

Fuente: <https://www.ledtecnologia.com/tabla-de-equivalencias-de-watts-a-lumenes-led/>

Niveles de iluminación

Como se menciona en la enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo, cada actividad requiere un nivel específico de iluminación. En general, cuanto mayor sea la dificultad de percepción visual, mayor deberá ser el nivel medio de la iluminación. El nivel de iluminación se mide con un

luxómetro portátil con el que se toman valores máximos y mínimos de la iluminación, su unidad de medida se da en lux.

Evaluación de los niveles de iluminación

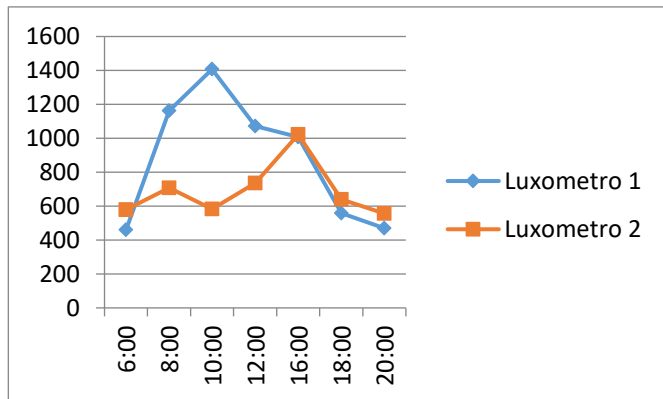
Con el fin de conocer los niveles de iluminación se realizó inspección en las distintas áreas de trabajo y servicio del edificio el Cubo, definiendo puntos de referencia en cada área para la medición de intensidad lumínica. Una vez establecidos los puntos de referencia, se procede a realizar las mediciones, teniendo en cuenta la altura aproximada al área de trabajo.

Las mediciones fueron programadas mediante horarios establecidos y en las áreas determinadas, teniendo en cuenta los horarios de mayor y menor uso de las instalaciones, llevadas a cabo durante una semana en el mes de agosto de 2019, como se muestra en las siguientes Tablas:

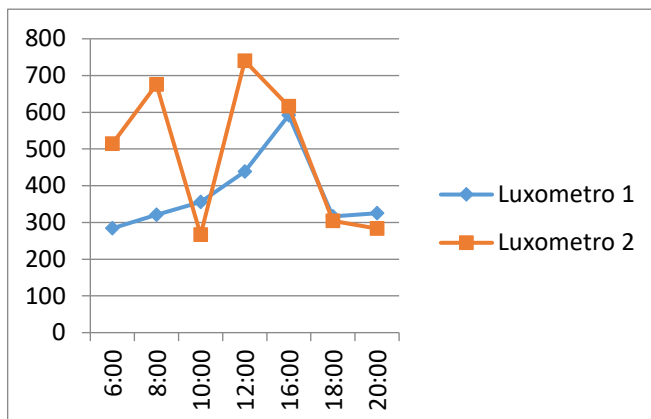
Resultados promedio obtenidos con el luxómetro de los niveles de iluminación de las diferentes áreas.

Tabla 10 Niveles de iluminación

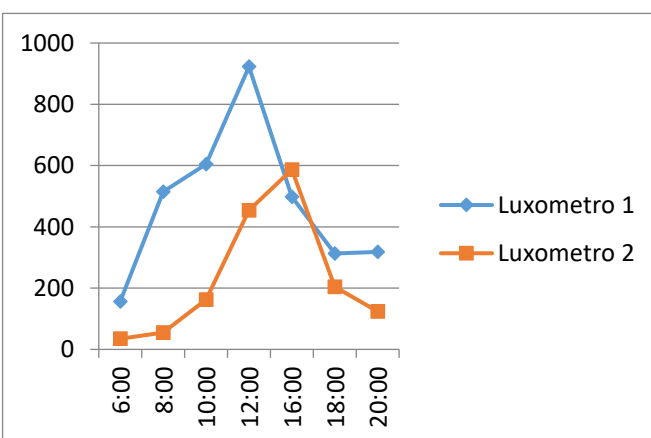
Fecha: Desde el 21 al 24 de agosto		
Espacio:	Oficinas - Piso 2	
Horas	Luxómetro 1	Luxómetro 2
6:00	460	580
8:00	1163	708
10:00	1407	584
12:00	1072	736
16:00	1008	1022
18:00	558	639
20:00	470	557



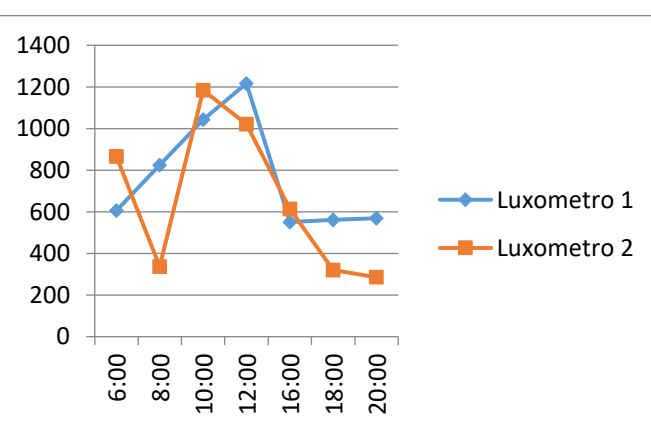
Fecha: Desde el 21 al 24 de Agosto		
Espacio:	Jardín Infantil - Piso 2	
Horas	Luxómetro 1	Luxómetro 2
6:00	284	514
8:00	321	675
10:00	356	267
12:00	438	740
16:00	592	616
18:00	316	305
20:00	326	284



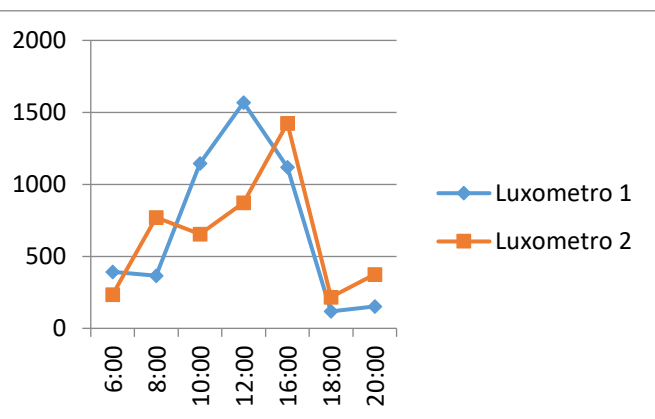
Fecha: Desde el 21 al 24 de Agosto		
Espacio:	Bolera - Piso 2	
Horas	luxómetro 1	luxómetro 2
6:00	157	35
8:00	515	55
10:00	605	163
12:00	923	454
16:00	498	587
18:00	313	205
20:00	318	124



Fecha: Desde el 21 al 24 de Agosto		
Espacio:	Piscina - Piso 3	
Horas	luxómetro 1	luxómetro 2
6:00	606	866
8:00	824	336
10:00	1042	1184
12:00	1217	1021
16:00	550	614
18:00	560	320
20:00	569	285



Fecha: Desde el 21 al 24 de Agosto		
Espacio:	Gimnasio - Piso 3	
Horas	luxómetro 1	luxómetro 2
6:00	392	235
8:00	366	770
10:00	1147	656
12:00	1569	873
16:00	1119	1425
18:00	118	217
20:00	151	375



Fuente: Los autores (2019)

Una vez analizados los niveles de iluminancia en las diferentes áreas de trabajo se puede deducir que algunas áreas presentan deterioro por falta de cambio de los bombillos quemados por no encontrarse su reemplazo en el mercado o por alto costo en cambios de la misma, lo que se ve reflejado en la reducción en el flujo luminoso y cambio de color durante el tiempo encendido. Por lo que, reemplazar las luminarias de la edificación se hace viable, ya que el sistema de iluminación LED es la mejor opción de implementación de un sistema de energía sostenible, mucho más eficiente que la convencional y otras nuevas tecnologías existentes en el mercado, ya que permite conseguir el ahorro tanto en consumo energético como en mantenimiento de operación y cambio. Además, en algunos casos incluso se podría permitir reducir la potencia contratada.

Esta edificación requiere de una rigurosa clasificación del tipo de luminaria LED a implementar, teniendo en cuenta que las diferentes áreas del edificio ofrecen diversos tipos de servicio considerando además los beneficios de iluminación natural con que este cuenta y así poder garantizar la iluminación mínima requerida para cada espacio.

La principal ventaja de la iluminación LED es que es mucho más eficiente que la convencional. Mientras que una bombilla utiliza alrededor de un 80% de su energía en generar calor y un 20% en generar luz, las luces LED aprovechan hasta un 90%. Por tanto, para conseguir la misma luz utilizan una cuarta parte de lo que necesitan las luminarias convencionales.

Por otro lado, el tiempo de vida de las luces LED es aproximadamente 10 veces más que el de las

convencionales. Esto supone un importante ahorro en mantenimiento, no sólo por el material de recambio, sino también por la mano de obra. No hay que olvidar que la mano de obra en algunos casos como fábricas con techos altos, puede suponer un gran gasto.

La verdadera medida de los costos va más allá del costo inicial de compra, pero también incluye el control inteligente de la iluminación, la vida útil, el mantenimiento y los costos de explotación. Se presentará una propuesta técnica y económica, la cual referirá beneficios ambientales, sociales y económicos, garantizando el manejo eficiente el consumo de la energía eléctrica.

Inventario de luminarias interiores instaladas y propuestas de ahorro energético:

Se realizó el inventario de las luminarias instaladas en el interior del edificio por tipo de lámpara, se encontró que en su mayoría existen dos tipos de referencia predominantes, por lo que se evaluó el tipo de luminaria LED para el cambio. La siguiente Tabla 11 Inventario de Luminarias muestra el consolidado de las luminarias del edificio y la propuesta de luminaria a instalar:

Tabla 11 Inventario de Luminarias

Cantidad de luminarias	Numero de referencia por luminaria	Numero de referencia por luminaria LED
1037	1 Tubo T5/54W/830-Balasto 2S54-90C-N	Luminaria hermética 35W 3000Lm 120-277V
12	1 Bombillo 32W/830/4 Pines Balasto ICF-2S42-M2-LD	Luminaria Philips Coreline tipo panel redondo 7" 15W 120-277V
24	1 Bombillo 26W/840/4 Pines Balasto ICF-2S42-M2-LD	Luminaria Philips Coreline tipo panel redondo 7" 15W 120-277V
1265	2 Bombillos 32W/840/4 Pines Balasto ICF-2S42-M2-LD	Luminaria Philips Coreline tipo panel redondo 8.5" 30W 120-277V
324	2 Tubos T5/54W/830-Balasto IZT-2S54-D	Luminaria hermética 68W 5900Lm 120-277V
225	1 Bombillo MH-150W/220V AC/E27/3000K Balasto IMH-150-H-LF	Luminaria Cree Noctura 40W 6500L 120-277V
12	1 Bombillo Dicroico 12V/20W/2 Pines	Bombilla GU10 6W
83	1 Bombillo CDM-TPMW/210W-930 Balasto HID-PVXT210/5CDM	Luminaria Cree Noctura 64W 10000L 120-277V

95	1 Tubo T8/32W/Luz negra	Luminaria hermética 35W 3000Lm 120-277V
12	2 Bombillos CDM-T-150W-830 2 Balasto IMH-150-H-LF	Luminaria Cree Noctura 64W 10000L 120-277V
27	2 Tubos T8/30W/6500K Balasto QTPA-X-32-T8	Luminaria hermética 35W 3000Lm 120-277V
92	1 Bombillo par 38 120V AC/E 27	Bombillo PAR38 Philips
72	1 Bombillo CDM-TD/150W/830 Balasto IMH-150-H-LF	Luminaria Cree Noctura 40W 6500L 120-277V
11	2 Bombillo 26W/840/4 PINES Balasto ICF-2S42-M2-LD	Luminaria Philips Coreline tipo panel redondo 8.5" 30W 120-277V

Fuente: Las autoras (2019)

En la Tabla 12 Consumo de energía estimada con Luminarias LED, se muestra un consumo energético proyectado contando con la implementación del sistema de luminarias LED.

Tabla 12 Consumo de energía estimada con Luminarias LED

EDIFICACION	Energía Consumida - Unidad / Día	Energía Consumida Área
PISO 6	8453	209953
PISO 5	9860	86351
PISO 4	25092	342737
PISO 3	23188	238017
PISO 2	20349	349112
PISO 1	34442	741948
TOTAL CONSUMO ENERGETICO KWh	121384	1968118

KWh

KWh

váticos	1000
---------	------

Consumo total energético Luminarias KWh/día	1968,118
Consumo total energético Luminarias KWh/Mes	59043,54
Consumo total energético Luminarias KWh/Año	718363,07

Fuente: Las autoras (2019)

Después de este análisis, y de la clasificación de las luminarias adecuadas para la instalación del

sistema LED, además de los datos de consumo, se solicitó una cotización formal de suministro e instalación de sistema de iluminación LED. Dicho proponente debe tener sede legal en Colombia, deben contar con servicio de mantenimiento y deben ofrecer garantía de los servicios y materiales ofertados.

Bajo los parámetros anteriormente mencionados, se contacta la empresa proveedora de luminarias LED, con quien se realiza varios recorridos y reuniones en donde se les expone la necesidad de iluminación del edificio, y a su vez el proveedor explica el funcionamiento del sistema y los materiales. Para la elaboración de las propuestas fue necesario suministrar a las empresas la siguiente información,

- Nivel de voltaje del armario eléctrico principal de distribución (ejemplo: trifásico 480V, bifásico 220V)
- Fotos, especificación e inventario de las luminarias existentes.

Luego de esto, el proponente tardo aproximadamente 10 días en la elaboración de su oferta, (ver anexo 5) la cual fue revisada y analizada, junto con la administración del edificio, en las que también se tomó en cuenta la experiencia acreditada de los proponentes.

Estudio de rentabilidad.

Se realizó un estudio de rentabilidad de proyecto (sin financiación), en la cual se consideraron los siguientes valores principales:

- Precio de venta de electricidad: 542,42 COP/kWh (según factura 2019)
- Costo de la inversión: 674.738.904,11 COP
- Porcentaje de autoconsumo instantáneo: 100% o 0% de excedentes (Estimado)

Como resultado, arroja un retorno de la inversión menor a 2 años, o bien, una TIR de proyecto mayor al 49,02 % en 17 años de explotación. Esto quiere decir que, a partir del año 2 de

Tabla 13 Flujo de caja luminarias LED

funcionamiento del sistema de iluminación LED, recupera su inversión inicial. Por su parte la VAN nos arroja un ahorro de \$3.300.024.463 pesos por 17 años de vida útil. En la Tabla 13 se presenta el flujo de caja realizado para la oferta seleccionada. En el anexo 6 se detallan los consumos y los datos de entrada con los que se elaboró el análisis de rentabilidad

FLUJO DE CAJA LUMINARIAS LED			
AÑO	EGRESOS	INGRESOS	FLUJO EFECTIVO NETO
0	\$ 674,738,904		(674,738,904.11)
1	\$ 79,528,101	\$ 417,514,793	337,986,691.99
2	\$ 84,834,922	\$ 419,602,367	334,767,444.47
3	\$ 90,141,744	\$ 421,700,379	331,558,634.83
4	\$ 95,448,565	\$ 423,808,881	328,360,315.24
5	\$ 100,755,387	\$ 425,927,925	325,172,538.16
6	\$ 104,948,889	\$ 422,065,158	317,116,269.09
7	\$ 109,142,391	\$ 424,175,484	315,033,092.59
8	\$ 113,335,894	\$ 426,296,361	312,960,467.72
9	\$ 117,529,396	\$ 428,427,843	310,898,447.24
10	\$ 121,722,898	\$ 430,569,982	308,847,084.17
11	\$ 125,916,401	\$ 432,722,832	306,806,431.79
12	\$ 130,109,903	\$ 434,886,447	304,776,543.66
13	\$ 134,303,405	\$ 437,060,879	302,757,473.61
14	\$ 138,496,907	\$ 439,246,183	300,749,275.71
15	\$ 142,690,410	\$ 441,442,414	298,752,004.34
16	\$ 146,883,912	\$ 443,649,626	296,765,714.12
17	\$ 151,077,414	\$ 445,867,874	294,790,459.96
		VAN	\$ 3,300,024,463.09
		TIR	49.02%

Fuente: Las autoras (2019)

5.5 Alternativa iluminación exterior autónoma

En el alumbrado de exteriores, la necesidad y a su vez la oportunidad de mejora en cuanto a energía eléctrica se produce en horas donde falta la luz natural. Así mismo, las necesidades de cableado eléctrico representan un gasto económico muy importante para cubrir las distancias entre los diferentes puntos de luz que provean de servicio y su conexión a la red.

Por tanto, la generación fotovoltaica resulta muy adecuada, pues evita la dependencia de la red eléctrica convencional y tanto su generación como su consumo se adaptan perfectamente al ciclo solar: mientras que por el día se genera y almacena la energía, por la noche se utiliza.

Para realizar estas instalaciones existen dos opciones: centralizar la captación y acumulación o bien que los puntos de luz tengan autonomía propia. Cada una de las opciones expuestas resulta adecuadas a determinadas circunstancias y cuentan con unas características diferenciadas que a continuación en la Tabla 14 se exponen:

Tabla 14 Captación centralizada vs autónoma

CENTRALIZADA	AUTÓNOMA
Requiere de gran espacio para situar el sistema de captación y acumulación que reúna las condiciones idóneas de insolación.	Al incorporar generación y consumo, todo el sistema viene en la misma unidad.
Deben realizarse canalizaciones para el paso de tubos y cables.	El dimensionado del soporte y su cimentación, deben tener en cuenta que hay una superficie mucho mayor expuesta a la fuerza del viento.
Una avería puede provocar el fallo de toda la instalación.	El fallo en un punto de luz no afecta al resto, pues son independientes.
La ampliación de la instalación puede requerir de espacios adicionales dedicados, así como la sustitución de elementos (captadores, baterías) por otros de mayor potencia.	No existen problemas para ampliar la cobertura de la red. No obstante, la potencia de las lámparas no puede ser muy elevada (hasta 50 W), pues mayores potencias requerirían de un sistema de captación con dimensiones y precios quizás excesivos

Fuente: Los autores (2019)

Para el caso del objeto de estudio, actualmente estas luminarias se usan a través de alternativa convencional centralizada, por lo cual se propone el cambio de estas luminarias de poste, por unas luminarias led de autoconsumo. Para minimizar el consumo es recomendable elegir las luminarias que más rendimiento proporcionen, desestimando las clásicas bombillas de incandescencia, cuya eficiencia luminosa es muy baja, pues aunque resulten más caras, son siempre más rentables al

exigir menos potencia eléctrica. El sistema de operación está basado en la generación eléctrica por medio de generadores fotovoltaicos, para ser almacenada en un banco de baterías y usar esta energía durante la noche.

En el mercado ya existen variedad de referencias de luminarias exteriores de autoconsumo, sin embargo para el presente proyecto de investigación y teniendo en cuenta el límite de tiempo, guiados por profesionales de iluminación, se realizó la selección de una luminaria que se ajustara al uso exterior del edificio que tiene un consumo de 40 watts por cada poste de iluminación y en total existen 18 unidades en el edificio, lo que representa anualmente un consumo de , 2102.4 Kw/h. Basados en esta información se solicitó la cotización a la empresa Abcontrol (ver anexo 7), quienes presentan su oferta por un total de \$74.970.000.

Estudio de rentabilidad

Se realizó un estudio de rentabilidad de proyecto (sin financiación), en la cual se consideraron los siguientes valores principales:

- Precio de venta de electricidad: 542,42 COP/kWh (según factura 2019)
- Costo de la inversión: 74.970.000 COP
- Porcentaje de autoconsumo instantáneo: 100% o 0% de excedentes (Estimado)

Como resultado, observamos que por la poca cantidad de luminarias, el consumo que representan, y el costo total de la inversión, no es viable financieramente realizar esta implementación, ya que no se recupera el dinero invertido y además se pueden generar pérdidas al redor de \$86.188.006.

En la Tabla 15 se presenta el flujo de caja realizado para la oferta seleccionada. En el anexo 8 se detallan los consumos y los datos de entrada con los que se elaboró el análisis de rentabilidad.

Tabla 15 Flujo de caja Luminarias autoconsumo

FLUJO DE CAJA LUMINARIAS EXTERIOR AUTOCONSUMO			
AÑO	EGERESOS	INGRESOS	FLUJO EFECTIVO NETO
0	\$ 74,970,000		(74,970,000.00)
1	\$ 1,686,937	\$ 1,221,921	(465,016.20)
2	\$ 1,799,505	\$ 1,228,031	(571,474.05)
3	\$ 1,912,072	\$ 1,234,171	(677,901.35)
4	\$ 2,024,640	\$ 1,240,342	(784,297.95)
5	\$ 2,137,207	\$ 1,246,544	(890,663.70)
6	\$ 2,226,159	\$ 1,235,239	(990,920.59)
7	\$ 2,315,111	\$ 1,241,415	(1,073,696.30)
8	\$ 2,404,063	\$ 1,247,622	(1,156,441.13)
9	\$ 2,493,015	\$ 1,253,860	(1,239,154.92)
10	\$ 2,581,967	\$ 1,260,129	(1,321,837.53)
11	\$ 2,670,919	\$ 1,266,430	(1,404,488.79)
12	\$ 2,759,871	\$ 1,272,762	(1,487,108.54)
13	\$ 2,848,823	\$ 1,279,126	(1,569,696.64)
14	\$ 2,937,774	\$ 1,285,522	(1,652,252.91)
15	\$ 3,026,726	\$ 1,291,949	(1,734,777.21)
16	\$ 3,115,678	\$ 1,298,409	(1,817,269.37)
17	\$ 3,204,630	\$ 1,304,901	(1,899,729.23)
18	\$ 3,293,582	\$ 1,311,425	(1,982,156.63)
19	\$ 3,382,534	\$ 1,317,983	(2,064,551.41)
20	\$ 3,471,486	\$ 1,324,572	(2,146,913.40)
21	\$ 3,560,438	\$ 1,331,195	(2,229,242.45)
22	\$ 3,649,390	\$ 1,337,851	(2,311,538.37)
23	\$ 3,738,342	\$ 1,344,541	(2,393,801.02)
24	\$ 3,827,293	\$ 1,351,263	(2,476,030.22)
25	\$ 3,916,245	\$ 1,358,020	(2,558,225.81)
	\$ 145,954,407	\$ 32,085,222	(113,869,185.76)
		VAN	(\$ 86,188,006.96)

Fuente: Los autores (2019)

5.6 Comparación de alternativas.

Teniendo en cuenta que las tres alternativas ya descritas tienen presupuestos y duraciones

diferentes, no es posible realizar un consolidado en cuanto a la VAN y la TIR para las 3. Lo que sí se puede presentar es la comparación de estos indicadores para cada una de las alternativas propuestas y determinar cuál es la más rentable.

Claramente y como lo muestran los cálculos de rentabilidad la propuesta de mayor viabilidad es el cambio de las luminarias a tecnología LED.

SOLAR FOTOVOLTAICA	
VAN	\$ 401,140,728.76
TIR	16.55%

LUMINARIAS LED	
VAN	\$ 3,300,024,463.09
TIR	49.02%

LUMINARIAS EXTERIOR AUTOCONSUMO	
VAN	(\$ 86,188,006.96)

Sin embargo, si se considera que el edificio tiene un flujo constante de usuarios, los trabajos para el cambio total de las luminarias tomarían mucho tiempo, y no se podría apreciar el ahorro total hasta finalizar los cambios. Además de que por las distancias techo a piso, se necesitarían varias secciones andamios y esto generaría impactos visuales poco agradables durante los trabajos, adicional durante la ejecución se pueden representar riesgos para el personal, por caídas de objetos.

Por el contrario, la implementación de las celdas fotovoltaicas genera un ahorro considerable y los trabajos para la implementación de la misma se realizan sobre áreas no transitables para los usuarios; lo cual evita impactos visuales negativos y minimiza los riesgos.

Por lo anterior se considera que si lo que se desea es obtener cambios inmediatos y de ahorro significativo a corto plazo, la alternativa más viable tanto técnica como económicamente es la

implementación de paneles solares.

En la Grafica 20 se presenta la elaboración de la empresa **+pv energy**, del modelo 3D volumétrico y vista aérea, de la implementación de estos paneles sobre las cubiertas anteriormente seleccionadas.

Grafica 20 - 3D volumétrico alternativa solar fotovoltaica



Fuente: +pv energy

6 Descripción de resultados esperados e impactos

- Afianzar los conocimientos aprendidos durante el transcurso de la especialización gerencia de obras
- Participación en futuros proyectos de investigación
- Presentar una propuesta final que sea evaluada por la dirección administrativa del cubo y que sea tomada en cuenta para una posible implementación.

6.1 Aporte de los resultados a la Gerencia de Obras

El presente trabajo se desarrolló bajo los parámetros aprendidos durante el curso de la especialización en asignaturas como gestión económica y financiera y gestión de proyectos y organizaciones, ya que se planeó y formuló un sistema de eficiencia energética en una construcción ya concluida, con el fin de mejorar los costos de administración y además lograr la optimización y aprovechamiento de los recursos energéticos y económicos.

6.2 Cómo se responde a la pregunta de investigación con los resultados

¿Cuál es la alternativa de eficiencia energética, considerando la generación energética a través de fuentes renovables y la gestión eficiente del recurso, que además sea viable económica y técnicamente para el edificio el Cubo?

Después de los análisis realizados durante el desarrollo del proyecto, evaluando las características de diseño y uso del edificio el Cubo, complementado con la rentabilidad que ofrecen las estrategias, se pudo evidenciar que es técnica y financieramente viable la implementación de sistemas de generación de energía eléctrica a través de la implementación solar fotovoltaica, por medio de la instalación de paneles solares permitiendo reducir el consumo energético durante su operación. Además esta se puede complementar con la integración de las nuevas tecnologías ofrecidas en el mercado como la tecnología de iluminación LED, brindando mejores características de uso, funcionalidad, mantenimiento, reducción de consumo energético, vida útil, que garanticen la eficiencia del sistema.

6.3 Estrategias de Comunicación y Divulgación

Como estrategias de comunicación y divulgación, el presente documento será compartido con la administración del edificio el Cubo para su posible implementación. De igual manera, será compartido en las bases de datos de la biblioteca de la universidad tanto el documento como un artículo, y se hará una sustentación del proyecto final el día 16 de noviembre de 2019 ante un

jurado calificador.

7 Nuevas áreas de Estudio

Dentro de esta investigación se pudo apreciar que en el país es muy poca la información existente acerca de:

- Sistemas de barras de distribución eléctrica.

8 Conclusiones

Las estrategias adecuadas para la eficiencia energética del edificio el Cubo se componen de, alternativa solar fotovoltaica, alternativa de luminarias LED y alternativa de luminarias exteriores de autoconsumo. Al realizar el análisis de rentabilidad de estas propuestas, las que resultan viables y con un retorno de inversión menor a 6 años son: las alternativas solar fotovoltaica y alternativa de cambio de luminarias a LED, esta última con un ahorro económico mayor. No obstante, si lo que se desea es obtener ahorros a corto plazo y además si se consideran los aspectos técnicos, logísticos y de seguridad para las dos alternativas, la que resulta más viable es la implementación de paneles solares fotovoltaicos, con una inversión inicial de \$391.680.000, que se retornan a los 6 años de implementado el proyecto, generando un ahorro de \$401.140.728 pesos por 25 años de vida útil

Existen varias alternativas que se pueden implementar en edificaciones ya construidas para reducir los costos de operación y además optimizar los recursos, sin embargo, para el caso del objeto de estudio, pensando en los trabajos que implican cada estrategia, el tiempo de vida útil, y la rentabilidad económica, el que tendría mayor incidencia positivamente, es la posible implementación de paneles fotovoltaicos.

El dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico tiene gran cantidad de variables, las cuales están a disposición del diseñador, por lo cual la elección de estos componentes debe hacerse teniendo en cuenta las necesidades de diseño y, adicionalmente, hay que tener en cuenta el aspecto económico del proyecto. Ya que podemos tener infinitas configuraciones del sistema dependiendo, por ejemplo, de los paneles solares que escojamos, ya que el precio de los paneles se eleva considerablemente a medida que sea más grande el valor de potencia nominal. Además de esto, se debe considerar el mantenimiento del sistema de producción de energía fotovoltaica.

Es importante dentro del plan de operación y mantenimiento del edificio incluir estrategias de gestión y de eficiencia que permitan reducir los gastos de funcionamiento, analizando las diferentes oportunidades de mejora, y teniendo en cuenta los estudios de rentabilidad económica, que permitan recuperar la inversión y generar ahorros futuros.

A través de la utilización de nuevas tecnologías y para lograr mayor beneficio de los sistemas se sugiere implementar mediante el cambio de las luminarias convencionales, incorporar dentro del sistema de iluminación LED el complemento de dimerización de esas luminarias, que permita el control del grado de iluminación aprovechando la luz natural con la que se cuenta en el edificio, adicional aporta en la reducción del consumo energético, permite a los usuarios personalizar sus espacios y crear ambientes confortables mediante la regulación de las luminarias, el ajuste y programación de escenas de luz, incluso la gestión a nivel cronológico.

9 Bibliografía

- [1] MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, «www.minambiente.gov.co,» 28 03 2016. [En línea]. Available: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/2250-un-nuevo-enfoque-en-la-relacion-entre-los-ciudadanos-y-el-ambiente>. [Último acceso: 08 05 2019].
- [2] MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, «www.corponor.gov.co,» 26 05 2015. [En línea]. Available: <http://corponor.gov.co/ACTOSJURIDICOS/NORMATIVIDAD/decreto1076.pdf>. [Último acceso: 08 05 2019].
- [3] LEY GENERAL AMBIENTAL DE COLOMBIA, 22 12 1993. [En línea]. Available: http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0099_1993.html. [Último acceso: 08 05 2019].
- [4] ONU , «Acelerar la eficiencia energética en productos y equipos es clave para los países mesoamericanos,» 17 08 2016. [En línea]. Available: <https://www.unenvironment.org/es/news-and-stories/reportajes/acelerar-la-eficiencia-energetica-en-productos-y-equipos-es-clave-para>. [Último acceso: 08 05 2019].
- [5] U.S. Green Building Council, «[spaingbc.org](http://www.spaingbc.org),» [En línea]. Available: http://www.spaingbc.org/files/Core%20Concepts%20Guide_ES.pdf. [Último acceso: 09 05 2019].
- [6] M. Y. Recalde, D. H. Bouille y L. O. Girardin, «LIMITACION PARA EL DESARROLLO DE ENERGÍAS RENOVABLES EN ARGENTINA,» *Problemas de Desarrollo*, vol. 183, n° 46, p. 27, 2015.
- [7] Instituto Tecnológico de Canarias, S.A, «Sostenibilidad energia de la Edificacio en Canarias,» 2008. [En línea]. Available: <https://www.cienciacanaria.es/files/Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf>.

- [8] M. C. Padilla, Gestión financiera, 2012.

- [9] Energía y Sociedad, « ¿Qué es la eficiencia energética?,» [En línea]. Available: <http://www.energiaysociedad.es/manenergia/1-1-que-es-la-eficiencia-energetica/>. [Último acceso: 13 05 2019].

- [10] United State Green Building Council, «Mejores edificios son nuestro legado,» [En línea]. Available: <https://new.usgbc.org/about>. [Último acceso: 08 05 2019].

- [11] MINAMBIENTE, «MINAMBIENTE,» [En línea]. Available: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/convencion-marco-de-naciones-unidas-para-el-cambio-climatico-cmnucc/protocolo-de-kioto>. [Último acceso: 22 05 2019].

- [12] MINMINAS, UPME, «PLAN DE ACCION INDICATIVO DE EFICIENCIA ENERGETICA 2017-2022,» 2016.

- [13] MINAMBIENTE, «MINAMBIENTE,» [En línea]. Available: http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/ley_23_de_1973.pdf. [Último acceso: 22 05 2019].

- [14] MINAMBIENTE, «Código Nacional de Recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente,» 2014. [En línea]. Available: <http://parquearvi.org/wp-content/uploads/2016/11/Decreto-Ley-2811-de-1974.pdf>. [Último acceso: 22 05 2019].

- [15] El Congreso de Colombia, [En línea]. Available: http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0099_1993.html. [Último acceso: 22 05 2019].

- [16] CONPES, [En línea]. Available: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3919.pdf>. [Último acceso: 22 05 2019].

- [17] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible , [En línea]. Available: <http://portal.anla.gov.co/normatividad/resoluciones/resolucion-1283>. [Último acceso: 22

05 2019].

- [18] Ministerio de energia , [En línea]. Available: <https://www.minenergia.gov.co/energias-renovables-no-convencionales>. [Último acceso: 22 05 2019].
- [19] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, «Funcion Publica,» [En línea]. Available: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78153>. [Último acceso: 2019].
- [20] M. d. V. C. y. Territorio. [En línea]. Available: <https://camacol.co/juridico/decreto-minivienda-nacional-no-1285-de-2015>. [Último acceso: 22 05 2019].
- [21] Congreso de la Republica, [En línea]. Available: http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1844_2017.html. [Último acceso: 29 05 2019].
- [22] Ministerio de minas y energías, «Funcion Publica,» [En línea]. Available: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=83537>. [Último acceso: 29 05 2019].
- [23] Ministerio de Minas y Energia, [En línea]. Available: <https://www.celsia.com/Portals/0/Documentos/conexion-generacion-distribuida/Resolucion-Creg030-2018.pdf?ver=2018-04-23-181818-593>. [Último acceso: 29 05 2019].
- [24] CONPES, [En línea]. Available: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3919.pdf>. [Último acceso: 29 05 2019].
- [25] CONPES, [En línea]. Available: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3934.pdf>. [Último acceso: 29 05 2019].
- [26] EL CUBO DE COLSUBSIDIO, «Elcubocolsubsidio,» 2013. [En línea]. Available: <https://elcubocolsubsidio.wordpress.com/2013/07/30/recorrido-y-descripcion/>. [Último

acceso: 19 05 2019].

- [27] Comisión mundial sobre el medio y el desarrollo, «Habitatge,» 27 Febrero 1987. [En línea]. Available: file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/COMISI%C3%93N%20MUNDIAL%20SOBRE%20EL%20MEDIO%20Y%20EL%20DESARROLLO.htm. [Último acceso: 25 Abril 2019].
- [28] Colombia, Etext, «Archdaily,» 14 Enero 2019. [En línea]. Available: <https://www.archdaily.co/co/908943/la-construccion-en-seco-un-avance-hacia-un-mundo-mas-sostenible>. [Último acceso: 19 Abril 2019].
- [29] A. Ramírez, «La construcción Sostenible,» *Física y Sociedad 30 trece*, p. 4, 202.
- [30] P. Calvino Vizcaino, D. Farje Echeverría, R. Olavide Garfias y P. Postigo Carrera, *Buenas Prácticas de Gestión Ecoeficiente en el Sector Supermercados en el 2015*, Surco: TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE MAGÍSTER EN ADMINISTRACIÓN ESTRATÉGICA DE EMPRESAS PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ, 2016.
- [31] Council, US Green Building, «USGBC,» [En línea]. Available: <https://new.usgbc.org/about#>. [Último acceso: 17 ABRIL 2019].
- [32] F. Greer, J. Chittick, E. Jackson, J. Mack, M. Shortlidge y E. Grubert, «Energy and water efficiency in LEED: How well are LEED points linked to climate outcomes?,» *Energy and Buildings*, vol. 195, pp. 161-167, 2019.
- [33] R. R. García Fernández, I. Reina Almanza y F. García , «Desarrollo de un sistema para la medición de la eficiencia energética de celdas solares,» *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 28, n° 1, p. 11, 2019.
- [34] C. Tobajas, *Energía solar térmica para instaladores (5a. ed.)*, Cano Pina, 2017.
- [35] A. De Molina, «Universidad ESAN,» Conexión esan, 10 Octubre 2018. [En línea]. Available: <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2018/10/la-importancia-del->

pmbok-y-su-influencia-en-un-proyecto/. [Último acceso: 5 Mayo 2019].

- [36] A. Mossalam, «Projects' issue management,» *HBRC Journal*, vol. 14, n° 3, pp. 400-407, 2018.
- [37] R. Fuentes Bracamontes y L. Lázaro Touza, «Politica Exterior,» Estudio de politica exterior, Octubre 2011. [En línea]. Available: <https://www.politicaexterior.com/articulos/economia-exterior/acuerdos-climaticos-internacionales-y-eficiencia-energetica/>. [Último acceso: 29 Abril 2019].
- [38] Banco Mundial , «Bancomundial.org,» 15 Febrero 2017. [En línea]. Available: <http://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2017/02/15/world-bank-scores-sustainable-energy-policies-in-111-countries>. [Último acceso: 3 Mayo 2019].
- [39] M. Villca Pozo y J. P. Gonzales Bustos, «Tax incentives to modernize the energy efficiency of the housing in Spain,» *Energy Policy*, vol. 128, pp. 530-538, 2019.
- [40] B. Baatz, G. Relf y S. Nowak, «The role of energy efficiency in a distributed energy future,» *The Electricity Journal*, vol. 31, n° 10, pp. 13-16, 2018.
- [41] Building Efficiency Initiative, «BuildingEfficiencyInitiativeorg,» 30 Abril 2010. [En línea]. Available: <https://buildingefficiencyinitiative.org/articles/en-todo-el-mundo-las-pol%C3%ADticas-energ%C3%A9ticas-emergentes-promueven-la-eficiencia-y-la-energ%C3%ADa>. [Último acceso: 2019 05 17].
- [42] CCSC, «Consejo Colombiano de Construcción Sostenible,» 9 Febrero 2016. [En línea]. Available: <https://www.cccs.org.co/wp/acerca-del-cccs/>. [Último acceso: 17 Mayo 2019].
- [43] Energética, Consejo Colombiano de Eficiencia, «cceeco.org,» Enero 2019. [En línea]. Available: http://cceecol.org/newweb_ccee/organizacion/organizacion/. [Último acceso: 2019 Mayo 18].
- [44] -UPME-, Ministerio de Minas y Energía -MME- Unidad de Planeación Minero Energética, «upme.gov,» Diciembre 2016. [En línea]. Available: http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/MarcoNormatividad/PAI_PROURE_2017

-2022.pdf. [Último acceso: 20 Mayo 2019].

- [45] Congreso de la Republica, «Secretariasenado.gov,» 13 Mayo 2014. [En línea]. Available: http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1715_2014.html. [Último acceso: 2019 Mayo 20].

- [46] M. Echeverri, «Larepublica.co,» La Republica, 04 Agosto 2017. [En línea]. Available: <https://www.larepublica.co/infraestructura/hay-104-proyectos-inmobiliarios-que-han-recibido-certificados-leed-2533679>. [Último acceso: 2019 Mayo 20].

- [47] «La eficiencia energética como ventaja competitiva empresarial sostenible,» 2017. [En línea]. Available: <http://eds.b.ebscohost.com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=9&sid=3f28e177-1f59-47f8-9f70-a52213128433%40pdc-v-sessmgr03>. [Último acceso: 22 05 2019].

- [48] E. Morales y D. Arnulfo, *LEED: Un Paradigma para las nuevas construcciones*, Mxico: Universidad Nacional Autónoma de Mexico, 2009.

10 Anexos